

AD

10/829,306

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-293937

(43)Date of publication of application : 11.11.1997

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

H01L 33/00

(21)Application number : 09-045673

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 28.02.1997

(72)Inventor : HINO TOMOKIMI  
 TANIGUCHI OSAMU  
 KINOSHITA YUKO  
 OKUYAMA HIROYUKI  
 NAKANO KAZUSHI  
 OKAMOTO SAKURAKO  
 ISHIBASHI AKIRA

(30)Priority

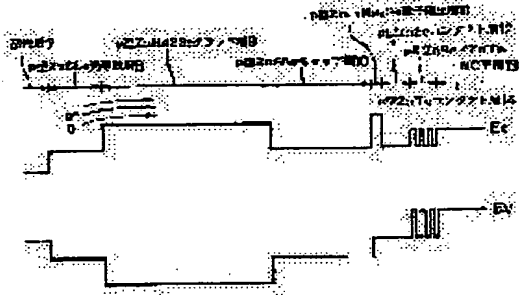
Priority number : 08 69124 Priority date : 29.02.1996 Priority country : JP

## (54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor light emitting element with which the increase of working voltage when current is applied and the deterioration of an active layer can be prevented using a II-VI group compound semiconductor of long lifetime.

SOLUTION: An electron blocking layer, consisting of a II-VI group compound semiconductor, such as a p-type  $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Se}$  electron blocking layer, for example, is inserted in the part between an active layer 7 and a p-type  $\text{ZnSe}/\text{ZnTe}$  MQW layer 13 such as the interface between a p-type  $\text{ZnSSE}$  cap layer 10 and a p-type  $\text{ZnSe}$  contact layer 12, for example, or a  $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{SySe}_{1-y}$  electron blocking layer is inserted in the part between the active layer 7 and a p-type  $\text{ZnMgSSe}$  clad layer 9, or in the p-type  $\text{ZnMgSSe}$  clad layer 9, and a  $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{SySe}_{1-y}$  hole blocking layer is inserted in the part between the active layer 7 and an n-type  $\text{ZnMgSSe}$  clad layer, or in an n-type  $\text{ZnMgSSe}$  clad layer.



BEST AVAILABLE COPY

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than]

the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

AD

10/829, 306

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-293937

(43) 公開日 平成9年(1997)11月11日

|                           |      |        |            |        |
|---------------------------|------|--------|------------|--------|
| (51) Int.Cl. <sup>6</sup> | 識別記号 | 庁内整理番号 | FI         | 技術表示箇所 |
| H01S 3/18                 |      |        | H01S 3/18  |        |
| H01L 33/00                |      |        | H01L 33/00 | D      |

審査請求 未請求 請求項の数43 O L (全 34 頁)

|              |                 |          |                                           |
|--------------|-----------------|----------|-------------------------------------------|
| (21) 出願番号    | 特願平9-45673      | (71) 出願人 | 000002185<br>ソニー株式会社<br>東京都品川区北品川6丁目7番35号 |
| (22) 出願日     | 平成9年(1997)2月28日 | (72) 発明者 | 日野 智公<br>東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内       |
| (31) 優先権主張番号 | 特願平8-69124      | (72) 発明者 | 谷口 理<br>東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内        |
| (32) 優先日     | 平8(1996)2月29日   | (72) 発明者 | 木下 優子<br>東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内       |
| (33) 優先権主張国  | 日本 (J P)        | (74) 代理人 | 弁理士 杉浦 正知                                 |

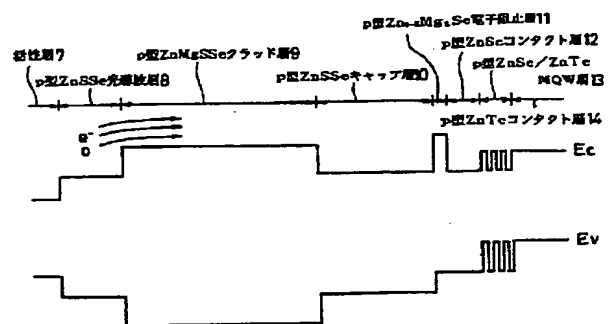
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 通電時の動作電圧の増加または活性層の劣化を防止し、長寿命のⅡⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体を用いた半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 活性層7とp型ZnSe/ZnTeMQW層13との間の部分、例えばp型ZnSSeキャップ層10とp型ZnSeコンタクト層12との界面にⅡⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体からなる電子阻止層、例えばp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11を挿入する。あるいは、活性層7とp型ZnMgSSeクラッド層9との間の部分またはp型ZnMgSSeクラッド層9中にZn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層を挿入し、活性層7とn型ZnMgSSeクラッド層との間の部分またはn型ZnMgSSeクラッド層中にZn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>正孔阻止層を挿入する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 活性層を n 型クラッド層と p 型クラッド層とによりはさんだ構造を有するとともに、p 側電極コンタクト部に多重量子井戸層を有し、

上記活性層、上記 n 型クラッド層、上記 p 型クラッド層および上記多重量子井戸層は、Zn、Mg、Cd、Hg および Be からなる群より選ばれた少なくとも一種のⅡⅠ族元素と Se、S および Te からなる群より選ばれた少なくとも一種のⅤⅠ族元素とにより構成されたⅡⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体からなる半導体発光素子において、  
10 上記活性層と上記多重量子井戸層との間に上記ⅡⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体からなる電子阻止層が少なくとも一層挿入されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】 上記電子阻止層により伝導帯の下端に上に凸の部分形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 3】 上記 n 型クラッド層と上記活性層との間および上記 p 型クラッド層と上記活性層との間にそれぞれ上記ⅡⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体からなる第 1 の光導波層および第 2 の光導波層がそれぞれ設けられていることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 4】 上記 p 型クラッド層上にそれぞれ上記ⅡⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体からなる p 型キャップ層、第 1 の p 型コンタクト層、p 型多重量子井戸層および第 2 の p 型コンタクト層が順次積層され、上記第 2 の p 型コンタクト層に p 側電極がコンタクトした構造を有し、上記電子阻止層は上記 p 型クラッド層、上記 p 型キャップ層および上記第 1 の p 型コンタクト層のいずれかの部分に挿入されていることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 5】 上記電子阻止層は上記 p 型キャップ層と上記第 1 の p 型コンタクト層との界面に挿入されていることを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子。

【請求項 6】 上記電子阻止層は上記 p 型キャップ層中に挿入されていることを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子。

【請求項 7】 上記電子阻止層は上記第 1 の p 型コンタクト層中に挿入されていることを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子。

【請求項 8】 上記電子阻止層は上記 p 型クラッド層中に挿入されていることを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子。

【請求項 9】 上記電子阻止層は上記活性層と上記 p 型クラッド層との界面に挿入されていることを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子。

【請求項 10】 上記電子阻止層は上記 p 型クラッド層と上記 p 型キャップ層との界面に挿入されていることを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子。

【請求項 11】 上記電子阻止層は上記第 1 の p 型コンタクト層と上記 p 型多重量子井戸層との界面に挿入され

ていることを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子。

【請求項 12】 上記電子阻止層は少なくとも Zn、Mg および Se からなることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 13】 上記電子阻止層は Zn、Mg、S および Se からなることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 14】 上記電子阻止層は少なくとも Zn、Mg および Se からなり、上記 p 型クラッド層は Zn、Mg、S および Se からなり、上記電子阻止層の Mg 組成比は上記 p 型クラッド層の Mg 組成比よりも大きいことを特徴とする請求項 8 記載の半導体発光素子。

【請求項 15】 上記電子阻止層は少なくとも Zn、Mg および Se からなり、上記 p 型クラッド層は Zn、Mg、S および Se からなり、上記電子阻止層の Mg 組成比は上記 p 型クラッド層の Mg 組成比よりも大きいことを特徴とする請求項 9 記載の半導体発光素子。

【請求項 16】 上記電子阻止層は少なくとも Zn、Mg および Se からなり、上記 p 型クラッド層は Zn、Mg、S および Se からなり、上記電子阻止層の Mg 組成比は上記 p 型クラッド層の Mg 組成比よりも大きいことを特徴とする請求項 10 記載の半導体発光素子。

【請求項 17】 上記電子阻止層は、少なくとも Zn、Mg および Se からなる障壁層と Zn、Cd および Se のうちの少なくとも二種の元素からなる量子井戸層とにより構成された超格子層からなることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 18】 上記電子阻止層は、少なくとも Zn、Mg および Se からなる障壁層と Zn、Cd および Se のうちの少なくとも二種の元素からなる量子井戸層とにより構成された多重量子障壁層からなることを特徴とする請求項 1 記載の半導体発光素子。

【請求項 19】 上記 p 型クラッド層は ZnMgSSe からなり、上記 p 型キャップ層は ZnSSe からなり、上記第 1 の p 型コンタクト層は ZnSe からなり、上記 p 型多重量子井戸層は交互に積層された ZnSe 層と ZnTe 層とからなり、上記第 2 の p 型コンタクト層は ZnTe からなることを特徴とする請求項 4 記載の半導体発光素子。

【請求項 20】 活性層を n 型クラッド層と p 型クラッド層とによりはさんだ構造を有するとともに、p 側電極コンタクト部に多重量子井戸層を有し、

上記活性層、上記 n 型クラッド層、上記 p 型クラッド層および上記多重量子井戸層は、Zn、Mg、Cd、Hg および Be からなる群より選ばれた少なくとも一種のⅡⅠ族元素と Se、S および Te からなる群より選ばれた少なくとも一種のⅤⅠ族元素とにより構成されたⅡⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体からなる半導体発光素子において、  
50 上記多重量子井戸層の障壁層が電子阻止層を構成してい

ることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項21】 活性層をn型クラッド層とp型クラッド層とによりはさんだ構造を有し、  
上記活性層、上記n型クラッド層および上記p型クラッド層は、Zn、Mg、Cd、HgおよびBeからなる群より選ばれた少なくとも一種のII族元素とSe、SおよびTeからなる群より選ばれた少なくとも一種のVI族元素とにより構成されたII-VI族化合物半導体からなる半導体発光素子において、  
上記活性層と上記p型クラッド層との間または上記p型クラッド層中に上記II-VI族化合物半導体からなる電子阻止層が少なくとも一層挿入されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項22】 上記電子阻止層により伝導帯の下端に上に凸の部分が形成されていることを特徴とする請求項21記載の半導体発光素子。

【請求項23】 上記n型クラッド層と上記活性層との間および上記p型クラッド層と上記活性層との間にそれぞれ上記II-VI族化合物半導体からなる第1の光導波層および第2の光導波層がそれぞれ設けられていることを特徴とする請求項21記載の半導体発光素子。

【請求項24】 上記電子阻止層は上記活性層と上記p型クラッド層との界面に挿入されていることを特徴とする請求項21記載の半導体発光素子。

【請求項25】 上記電子阻止層は上記p型クラッド層中に挿入されていることを特徴とする請求項21記載の半導体発光素子。

【請求項26】 上記電子阻止層は上記第2の光導波層と上記p型クラッド層との界面に挿入されていることを特徴とする請求項23記載の半導体発光素子。

【請求項27】 上記電子阻止層は上記第2の光導波層中に挿入されていることを特徴とする請求項23記載の半導体発光素子。

【請求項28】 上記電子阻止層は上記活性層と上記第2の光導波層との界面に挿入されていることを特徴とする請求項23記載の半導体発光素子。

【請求項29】 上記電子阻止層はZn、Mg、SおよびSeからなることを特徴とする請求項21記載の半導体発光素子。

【請求項30】 上記電子阻止層はZn、Mg、SおよびSeからなり、上記p型クラッド層はZn、Mg、SおよびSeからなり、上記電子阻止層のMg組成比は上記p型クラッド層のMg組成比よりも大きいことを特徴とする請求項21記載の半導体発光素子。

【請求項31】 上記電子阻止層はZn、Mg、SおよびSeからなり、上記p型クラッド層はZn、Mg、SおよびSeからなり、上記第2の光導波層はZn、SおよびSeからなることを特徴とする請求項26記載の半導体発光素子。

【請求項32】 上記電子阻止層はZn、Mg、Sおよ

びSeからなり、上記p型クラッド層はZn、Mg、SおよびSeからなり、上記第2の光導波層はZn、SおよびSeからなることを特徴とする請求項28記載の半導体発光素子。

【請求項33】 活性層をn型クラッド層とp型クラッド層とによりはさんだ構造を有し、  
上記活性層、上記n型クラッド層および上記p型クラッド層は、Zn、Mg、Cd、HgおよびBeからなる群より選ばれた少なくとも一種のII族元素とSe、SおよびTeからなる群より選ばれた少なくとも一種のVI族元素とにより構成されたII-VI族化合物半導体からなる半導体発光素子において、

上記活性層と上記n型クラッド層との間または上記n型クラッド層中に上記II-VI族化合物半導体からなる正孔阻止層が少なくとも一層挿入されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項34】 上記正孔阻止層により価電子帯の上端に下に凸の部分が形成されていることを特徴とする請求項33記載の半導体発光素子。

【請求項35】 上記n型クラッド層と上記活性層との間および上記p型クラッド層と上記活性層との間にそれぞれ上記II-VI族化合物半導体からなる第1の光導波層および第2の光導波層がそれぞれ設けられていることを特徴とする請求項33記載の半導体発光素子。

【請求項36】 上記正孔阻止層は上記活性層と上記n型クラッド層との界面に挿入されていることを特徴とする請求項33記載の半導体発光素子。

【請求項37】 上記正孔阻止層は上記n型クラッド層中に挿入されていることを特徴とする請求項33記載の半導体発光素子。

【請求項38】 上記正孔阻止層は上記第1の光導波層と上記n型クラッド層との界面に挿入されていることを特徴とする請求項35記載の半導体発光素子。

【請求項39】 上記正孔阻止層は上記第1の光導波層中に挿入されていることを特徴とする請求項35記載の半導体発光素子。

【請求項40】 上記正孔阻止層は上記活性層と上記第1の光導波層との界面に挿入されていることを特徴とする請求項35記載の半導体発光素子。

【請求項41】 上記正孔阻止層はZn、Mg、SおよびSeからなることを特徴とする請求項33記載の半導体発光素子。

【請求項42】 上記正孔阻止層はZn、Mg、SおよびSeからなり、上記n型クラッド層はZn、Mg、SおよびSeからなり、上記正孔阻止層のS組成比は上記n型クラッド層のS組成比よりも大きいことを特徴とする請求項33記載の半導体発光素子。

【請求項43】 上記正孔阻止層はZn、SおよびSeからなり、上記第1の光導波層はZn、SおよびSeからなり、上記正孔阻止層のS組成比は上記第1の光導波

層のS組成比よりも大きいことを特徴とする請求項35記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、半導体発光素子に関し、特に、ⅠⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体を用いた半導体発光素子、例えば半導体レーザーや発光ダイオードに適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】近年、光ディスクや光磁気ディスクに対する記録／再生の高密度化または高解像度化のために、青色ないし緑色で発光可能な半導体発光素子に対する要求が高まっており、その実用化を目指して研究が活発に行われている。

【0003】このような青色ないし緑色で発光可能な半導体発光素子の製造に用いる材料としては、Zn、Mg、Cd、Hg、BeなどのⅠⅠ族元素とSe、S、TeなどのⅤⅠ族元素とからなるⅠⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体が最も一般的に用いられている。特に、四元素のⅠⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体であるZnMgSSeは、結晶性に優れ、入手も容易なGaAs基板上への結晶成長が可能であり、例えば青色で発光可能な半導体レーザーをこのGaAs基板を用いて製造するときのクラッド層や光導波層などに適していることが知られている（例えば、Electronics Letters 28(1992)1798）。

【0004】従来、このⅠⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体を用いた半導体発光素子、特にクラッド層にZnMgSSe層を用いた半導体発光素子は、n型GaAs基板上にバッファ層を介してn型ZnMgSSeクラッド層、活性層、p型ZnMgSSeクラッド層、p型ZnSeコンタクト層などを分子線エピタキシー（MBE）法により順次成長させた後、このp型ZnSeコンタクト層上にp側電極を形成するとともに、n型GaAs基板の裏面にn側電極を形成することにより製造するのが一般的であった。しかしながら、このような半導体発光素子においては、p型ZnSeコンタクト層のキャリア濃度を高くするのが難しいことなどにより、このp型ZnSeコンタクト層にp側電極をオーミックコンタクトさせることは困難であった。

【0005】そこで、この問題を解決するために、p型ZnSeコンタクト層上にp型ZnSe/ZnTe多重量子井戸（MQW）層を成長させ、さらにその上に高キャリア濃度のものが容易に得られるp型ZnTeコンタクト層を成長させ、その上にp側電極、特にPd/Pt/Au構造のp側電極を形成することによりオーミックコンタクト特性の向上を図る技術が提案された。そして、ZnCdSe層を活性層、ZnSSe層を光導波層、ZnMgSSe層をクラッド層とするZnCdSe/ZnSSe/ZnMgSSe SCH (Separate Confinement Heterostructure) 構造の半導体レーザーにお

いてこのp側電極コンタクト構造を採用したもので、すでに室温連続発振が達成されている（例えば、Jpn. J. Appl. Phys. 33(1994)L938）。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、本発明者の知見によれば、上述のようなp側電極コンタクト構造を用いた従来の半導体レーザーにおいては、通電を行うと、時間の経過とともに動作電圧の増加が発生することが確認されている。この通電時の動作電圧の増加は、素子の寿命を制限している一因である。

【0007】さらに、上述のようなp側電極コンタクト構造の使用の有無に関わらず、従来の半導体レーザーにおいては、通電時に活性層の劣化が進行し、これによっても素子の寿命が制限されるという問題もあった。

【0008】したがって、この発明の目的は、通電時の動作電圧の増加を防止することができることにより長寿命のⅠⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体を用いた半導体発光素子を提供することにある。

【0009】この発明の他の目的は、通電時の活性層の劣化を防止することができることにより長寿命のⅠⅠ-ⅤⅠ族化合物半導体を用いた半導体発光素子を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者は、上述の課題を解決するために鋭意検討を行った結果、通電時の動作電圧の増加の原因の一つは、活性層において正孔と再結合することなくp型クラッド層側に漏れ出た（オーバーフローした）電子がp側電極コンタクト部のp型ZnSe/ZnTeMQW層に流入し、そこで正孔と再結合することにより発生するエネルギーがp型ZnSe/ZnTeMQW層を破壊し、p側電極コンタクト部の劣化をもたらすことにあることを見出した。そして、この通電時の動作電圧の増加を防止するためには、活性層から漏れ出た電子がp側電極コンタクト部のp型ZnSe/ZnTeMQW層に流入しないようにするのが有効であるという結論に至り、この発明を案出するに至ったものである。

【0011】一方、通電時の活性層の劣化については、積層欠陥などのマクロな欠陥による活性層劣化の克服がなされ、現在では、もっぱら点欠陥のようなミクロな欠陥による劣化が問題となっている。このミクロな欠陥の移動、増殖には、電子-正孔非発光再結合が寄与すると考えられることから、活性層における発光再結合に寄与しないで活性層以外で非発光再結合する電子および正孔を抑えることが、活性層の劣化を抑制するために必要である。そして、そのために電子または正孔のオーバーフローを抑えることを目的として、クラッド層や光導波層の伝導帯の下端または価電子帯の上端を高くすることが考えられる。

【0012】図44に、ZnMgSSeからなるクラッド

ド層のエネルギーギャップ $E_g$ を変化させて半導体レーザーのしきい値電流 $I_{th}$ の温度依存性を計算で求めた結果を示す。ただし、発振波長は500nm、クラッド層のキャリア濃度は $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ とした。図44より、クラッド層のエネルギーギャップ $E_g$ が大きくなるにしたがい、室温におけるしきい値電流 $I_{th}$ が減少することがわかる。

【0013】この場合、エネルギーギャップが2.95eV以上では、室温におけるしきい値電流に大差はないが、高光出力時の高温動作やさらに短い発振波長に対応するためには、さらにエネルギーギャップを大きくする必要がある。しかしながら、アクセプタ不純物としてNがドーブされたp型ZnMgSSeクラッド層やp型ZnSSe光導波層においては、前者についてはMg組成比またはS組成比、後者についてはS組成比の増加によりエネルギーギャップを増加させると、キャリア濃度の低下が生じる。このため、特に移動度の高い電子に対してオーバーフローを抑制するのに十分な高さの伝導帯下端を有し、かつ、レーザー発振に十分なキャリア濃度を有するクラッド層や光導波層を作製することは困難であった。

【0014】本発明者は、鋭意検討を行った結果、この問題を解決するためには、クラッド層や光導波層とは別に電子阻止層または正孔阻止層を設け、この電子阻止層または正孔阻止層により電子または正孔のオーバーフローを抑制するとともに、クラッド層や光導波層のキャリア濃度をレーザー発振に十分な値にすることが有効であるという結論に至り、この発明を案出するに至ったものである。

【0015】すなわち、上記目的を達成するために、この発明の第1の発明は、活性層をn型クラッド層とp型クラッド層とによりはさんだ構造を有するとともに、p側電極コンタクト部に多重量子井戸層を有し、活性層、n型クラッド層、p型クラッド層および多重量子井戸層は、Zn、Mg、Cd、HgおよびBeからなる群より選ばれた少なくとも一種のII族元素とSe、SおよびTeからなる群より選ばれた少なくとも一種のVI族元素とにより構成されたII-VI族化合物半導体からなる半導体発光素子において、活性層と多重量子井戸層との間にII-VI族化合物半導体からなる電子阻止層が少なくとも一層挿入されていることを特徴とするものである。

【0016】この発明の第2の発明は、活性層をn型クラッド層とp型クラッド層とによりはさんだ構造を有するとともに、p側電極コンタクト部に多重量子井戸層を有し、活性層、n型クラッド層、p型クラッド層および多重量子井戸層は、Zn、Mg、Cd、HgおよびBeからなる群より選ばれた少なくとも一種のII族元素とSe、SおよびTeからなる群より選ばれた少なくとも一種のVI族元素とにより構成されたII-VI族化合

物半導体からなる半導体発光素子において、多重量子井戸層の障壁層が電子阻止層を構成していることを特徴とするものである。

【0017】この発明の第3の発明は、活性層をn型クラッド層とp型クラッド層とによりはさんだ構造を有し、活性層、n型クラッド層およびp型クラッド層は、Zn、Mg、Cd、HgおよびBeからなる群より選ばれた少なくとも一種のII族元素とSe、SおよびTeからなる群より選ばれた少なくとも一種のVI族元素とにより構成されたII-VI族化合物半導体からなる半導体発光素子において、活性層とp型クラッド層との間またはp型クラッド層中にII-VI族化合物半導体からなる電子阻止層が少なくとも一層挿入されていることを特徴とするものである。

【0018】この発明の第4の発明は、活性層をn型クラッド層とp型クラッド層とによりはさんだ構造を有し、活性層、n型クラッド層およびp型クラッド層は、Zn、Mg、Cd、HgおよびBeからなる群より選ばれた少なくとも一種のII族元素とSe、SおよびTeからなる群より選ばれた少なくとも一種のVI族元素とにより構成されたII-VI族化合物半導体からなる半導体発光素子において、活性層とn型クラッド層との間またはn型クラッド層中にII-VI族化合物半導体からなる正孔阻止層が少なくとも一層挿入されていることを特徴とするものである。

【0019】この発明において、電子阻止層により伝導帯の下端に形成される上に凸の部分の高さ、または、正孔阻止層により価電子帯の上端に形成される下に凸の部分の高さは、この電子阻止層または正孔阻止層が、通電時に活性層から漏れ出た電子または正孔に対して有効な障壁となるようにするためには、100meV以上あることが望ましい。この電子阻止層または正孔阻止層の厚さは、使用する基板と格子整合するようにその組成を選ぶことにより、任意の厚さにすることが可能である。また、仮にこの電子阻止層または正孔阻止層が基板と格子整合しない場合においても、この電子阻止層または正孔阻止層の厚さが、基板との格子不整合による臨界膜厚以内に収まっていれば、転位などの欠陥を生じることなくこの電子阻止層または正孔阻止層を成長させることができる。

【0020】具体的には、例えば $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{SySe}_{1-y}$ からなる電子阻止層の場合、その厚さは、GaAs基板と格子整合するようにそのMg組成比 $x$ およびS組成比 $y$ を選ぶことにより任意の厚さにすることが可能である。図45に、 $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{SySe}_{1-y}$ のMg組成比 $x$ およびS組成比 $y$ と77Kにおけるエネルギーギャップおよび格子定数との関係を示す。この $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{SySe}_{1-y}$ からなる電子阻止層がGaAs基板と格子整合しない場合においても、この電子阻止層の厚さが、Mg組成比 $x$ の増加に伴うGaAs基板との格子

不整合による臨界膜厚以内に収まっていれば、転位などの欠陥を生じることなくこの電子阻止層を成長させることができる。例えば、格子不整合量  $\Delta a/a$  (GaAs) (ただし、 $a$  (GaAs) は GaAs の格子定数、 $\Delta a$  は  $Zn_{1-x}Mg_xSi_ySe_{1-y}$  からなる電子阻止層の格子定数と GaAs の格子定数との差) が  $\pm 0.3\%$  程度であれば、GaAs 基板上に ZnSe 層を成長させる場合からの類推により、100~200nm の厚さにすることが可能である。

【0021】上述のように構成された第1の発明または第2の発明による半導体発光素子によれば、活性層と多重量子井戸層との間に III-V 族化合物半導体からなる電子阻止層が少なくとも一層挿入され、あるいは、多重量子井戸層の障壁層が電子阻止層を構成していることにより、通電時に活性層から漏れ出た電子が p 側電極コンタクト部の多重量子井戸層に到達するのを有効に抑制することができ、このため多重量子井戸層の破壊を防止することができる。

【0022】上述のように構成された第3の発明による半導体発光素子によれば、活性層と p 型クラッド層との間または p 型クラッド層中に III-V 族化合物半導体からなる電子阻止層が少なくとも一層挿入されていることにより、通電時に活性層から漏れ出た電子が p 型クラッド層に到達するのを有効に抑制することができ、あるいは、p 型クラッド層に到達したとしてもその途中で止めることができる。このため、活性層から漏れ出た電子が p 型クラッド層などで正孔と非発光再結合することによるミクロな欠陥の移動、増殖を有効に抑えることができる。

【0023】上述のように構成された第4の発明による半導体発光素子によれば、活性層と n 型クラッド層との間または n 型クラッド層中に III-V 族化合物半導体からなる正孔阻止層が少なくとも一層挿入されていることにより、通電時に活性層から漏れ出た正孔が n 型クラッド層に到達するのを有効に抑制することができ、あるいは、n 型クラッド層に到達したとしてもその途中で止めることができる。このため、活性層から漏れ出た正孔が n 型クラッド層などで電子と非発光再結合することによるミクロな欠陥の移動、増殖を有効に抑えることができる。

#### 【0024】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0025】図1および図2は、この発明の第1の実施形態による半導体レーザーを示す。ここで、図1はこの半導体レーザーの共振器長方向に垂直な断面図、図2はこの半導体レーザーの共振器長方向に平行な断面図である。この半導体レーザーは SCH 構造を有するものである。

【0026】図1および図2に示すように、この第1の

実施形態による半導体レーザーにおいては、ドナー不純物として例えば Si がドーピングされた例えば (100) 面方位の n 型 GaAs 基板1上に、ドナー不純物として例えば Si がドーピングされた n 型 GaAs バッファ層2、ドナー不純物として例えば Cl がドーピングされた n 型 ZnSe バッファ層3、ドナー不純物として同様に Cl がドーピングされた n 型 ZnSSe バッファ層4、ドナー不純物として同様に Cl がドーピングされた n 型 ZnMgSSe クラッド層5、ドナー不純物として同様に Cl がドーピングされた n 型 ZnSSe 光導波層6、例えば ZnCdSe 層を量子井戸層とする単一量子井戸構造または多重量子井戸構造の活性層7、アクセプタ不純物として例えば N がドーピングされた p 型 ZnSSe 光導波層8、アクセプタ不純物として同様に N がドーピングされた p 型 ZnMgSSe クラッド層9、アクセプタ不純物として同様に N がドーピングされた p 型 ZnSSe キャップ層10、アクセプタ不純物として同様に N がドーピングされた p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSe$  電子阻止層 (ただし、 $0 < x \leq 1$ ) 11、アクセプタ不純物として同様に N がドーピングされた p 型 ZnSe コンタクト層12、アクセプタ不純物として同様に N がそれぞれドーピングされた p 型 ZnSe からなる障壁層と p 型 ZnTe からなる量子井戸層とが交互に積層された p 型 ZnSe/ZnTeMQW 層13およびアクセプタ不純物として同様に N がドーピングされた p 型 ZnTe コンタクト層14が、順次積層されている。

【0027】ここで、p 型 ZnSSe キャップ層10と p 型 ZnSe コンタクト層12との界面に p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSe$  電子阻止層11が挿入されていることが特徴的である。後述のように、この p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSe$  電子阻止層11は、この半導体レーザーの通電時に活性層7から漏れ出た電子が p 型 ZnSe/ZnTeMQW 層13に到達するのを抑制するためのものである。

【0028】この場合、p 型 ZnSSe キャップ層10の上層部、p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSe$  電子阻止層11、p 型 ZnSe コンタクト層12、p 型 ZnSe/ZnTeMQW 層13および p 型 ZnTe コンタクト層14は、一方向に延びるストライプ形状を有する。

【0029】このストライプ部以外の部分の p 型 ZnSSe キャップ層10上には、例えば厚さが 300nm のアルミナ ( $Al_2O_3$ ) 膜からなる絶縁層15が形成されている。そして、ストライプ形状の p 型 ZnTe コンタクト層14および絶縁層15上に p 側電極16が形成されている。この p 側電極16が p 型 ZnTe コンタクト層14とコンタクトした部分が電流の通路となる。ここで、この p 側電極16としては、例えば、厚さが 10nm の Pd 膜と厚さが 100nm の Pt 膜と厚さが 300nm の Au 膜とを順次積層した構造の Pd/Pt/Au 電極が用いられる。一方、n 型 GaAs 基板1の裏面には、例えば In 電極のような n 側電極17がコンタクトしている。



【0030】この半導体レーザーにおいては、いわゆる端面コーティングが施されている。すなわち、図2に示すように、共振器長方向に垂直な一対の共振器端面のうちレーザー光が取り出されるフロント側の端面には、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜18と $\text{Si}$ 膜19とを1周期積層した多層膜がコーティングされ、共振器長方向に垂直な一対の共振器端面のうちレーザー光が取り出されないリア側の端面には、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜18と $\text{Si}$ 膜19とを2周期積層した多層膜がコーティングされている。ここで、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜18と $\text{Si}$ 膜19とを1周期積層した多層膜の厚さは、それに屈折率をかけた光学的距離がレーザー光の発振波長の $1/4$ になるように選ばれる。このような端面コーティングが施されていることにより、例えば、フロント側の端面の反射率を70%、リア側の端面の反射率を例えば95%にすることができる。

【0031】この半導体レーザーを構成する各半導体層の厚さの一例を挙げると、 $n$ 型 $\text{GaAs}$ バッファ層2は500nm、 $n$ 型 $\text{ZnSe}$ バッファ層3は30nm、 $n$ 型 $\text{ZnSSe}$ バッファ層4は150nm、 $n$ 型 $\text{ZnMgSSe}$ クラッド層5および $p$ 型 $\text{ZnMgSSe}$ クラッド層9はそれぞれ1000nm、 $n$ 型 $\text{ZnSSe}$ 光導波層6および $p$ 型 $\text{ZnSSe}$ 光導波層8はそれぞれ100nm、 $p$ 型 $\text{ZnSSe}$ キャップ層10は1500nm、 $p$ 型 $\text{ZnSe}$ コンタクト層12は100nm、 $p$ 型 $\text{ZnTe}$ コンタクト層14は70nmである。また、各 $n$ 型半導体層の有効ドナー濃度 $N_D - N_A$ （ただし、 $N_D$ ：ドナー濃度、 $N_A$ ：アクセプタ濃度）の一例を挙げると、 $n$ 型 $\text{GaAs}$ バッファ層2は $2.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $n$ 型 $\text{ZnSe}$ バッファ層3、 $n$ 型 $\text{ZnSSe}$ バッファ層4、 $n$ 型 $\text{ZnMgSSe}$ クラッド層5および $n$ 型 $\text{ZnSSe}$ 光導波層6はそれぞれ $5.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ である。さらに、各 $p$ 型半導体層の有効アクセプタ濃度 $N_A - N_D$ の一例を挙げると、 $p$ 型 $\text{ZnSSe}$ 光導波層8、 $p$ 型 $\text{ZnSSe}$ キャップ層10および $p$ 型 $\text{ZnSe}$ コンタクト層12はそれぞれ $1.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $p$ 型 $\text{ZnMgSSe}$ クラッド層9は $2.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $p$ 型 $\text{ZnTe}$ コンタクト層14は $1.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。

【0032】 $p$ 型 $\text{ZnSSe}$ キャップ層10は、場合により、 $p$ 型 $\text{ZnMgSSe}$ クラッド層9に加えた第2のクラッド層としての機能、 $p$ 型 $\text{ZnMgSSe}$ クラッド層9との格子整合をとる機能、ヒートシンク上へのレーザーチップのマウントの際のチップ端面におけるはんだの食い上がりによる短絡を防止するためのスペーサ層としての機能などのうちのまたは二以上の機能を有する。

【0033】また、 $p$ 型 $\text{ZnSe}/\text{ZnTeMQW}$ 層13は、 $p$ 型 $\text{ZnSe}$ コンタクト層12と $p$ 型 $\text{ZnTe}$ コンタクト層14とを直接接合したときにはその接合界面において価電子帯に約0.8eVの大きなバンド不連続

が生じ、これが、 $p$ 側電極16から注入される正孔が $p$ 型 $\text{ZnTe}$ コンタクト層14から $p$ 型 $\text{ZnSe}$ コンタクト層12に移動する際の障壁となることから、この障壁を実効的になくすためのものである。

【0034】図3は、この半導体レーザーの活性層7と $p$ 型 $\text{ZnTe}$ コンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図（フラットバンドモデルによる。以下同様。）である。図3中、 $E_c$ は伝導帯の下端（CBM（Conduction Band Minimum）ともいう）、 $E_v$ は価電子帯の上端（VBM（Valence Band Maximum）ともいう）を示す（以下同様）。図3からわかるように、 $p$ 型 $\text{ZnSSe}$ キャップ層10と $p$ 型 $\text{ZnSe}$ コンタクト層12との界面に挿入された $p$ 型 $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Se}$ 電子阻止層11により、伝導帯の下端に上に凸の部分形成されている。この凸部の高さは、 $p$ 型 $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Se}$ 電子阻止層11の $\text{Mg}$ 組成比 $x$ が大きくなるほど高くなり、例えば $\text{Mg}$ 組成比 $x$ が0.12（12%）の場合には約200meVである。また、この $p$ 型 $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Se}$ 電子阻止層11の厚さは、臨界膜厚を超えない範囲で可能な限り大きく選ぶのが好ましい。具体的には、この $p$ 型 $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Se}$ 電子阻止層11の厚さは、 $\text{Mg}$ 組成比 $x$ が例えば0.12の場合、例えば50nm程度に選ばれるが（図4参照）、より小さい厚さ、例えば10nm程度に選んでもよい。なお、図4において、PBモデルによる曲線はR. PeopleおよびJ. C. Beanによる理論曲線（Appl. Phys. Lett. 47(1985)322）であり、MBモデルによる曲線はJ. W. MatthewsおよびA. E. Blakesleeによる理論曲線（J. Cryst. Growth 27(1974)118）である。

【0035】この半導体レーザーにおいては、 $n$ 側電極17から活性層7に注入され、正孔と再結合することなくこの活性層7から漏れ出た電子は、 $p$ 型 $\text{ZnSSe}$ キャップ層10と $p$ 型 $\text{ZnSe}$ コンタクト層12との界面に挿入された $p$ 型 $\text{Zn}_{1-x}\text{Mg}_x\text{Se}$ 電子阻止層11の部分における伝導帯の下端に形成された凸部が障壁となることにより $p$ 型 $\text{ZnSe}$ コンタクト層12側への移動が妨げられ、したがって $p$ 型 $\text{ZnSe}/\text{ZnTeMQW}$ 層13への電子の流入が抑制されることから、この $p$ 型 $\text{ZnSe}/\text{ZnTeMQW}$ 層13における電子と正孔との再結合の確率が減少する。このため、この $p$ 型 $\text{ZnSe}/\text{ZnTeMQW}$ 層13の部分における電子と正孔との再結合により発生するエネルギーがこの $p$ 型 $\text{ZnSe}/\text{ZnTeMQW}$ 層13の劣化を促進する問題がない。これによって、半導体レーザーの通電時に動作電圧の増加が発生するのを有効に防止することができ、電流-電圧特性などの動作特性の安定化を図ることができ、ひいては半導体レーザーの長寿命化を図ることができる。

【0036】図5にこの半導体レーザーの自動電流制御（Auto Current Control, ACC）エージングを行ったときに得られたデータを示す。比較のために、図5に

13

は、p型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11を挿入しない場合についての同様なデータも併せて示してある。図5において、横軸はエージング時間、縦軸は動作電圧を示す。

【0037】図5からわかるように、p型ZnSSeキャップ層10とp型ZnSeコンタクト層12との界面にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11が挿入されたこの半導体レーザーの方が、p型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11を挿入しない半導体レーザーに比べて、より長時間まで素子の破壊が進行せず、安定な通電が維持されている。このことから、p型ZnSSeキャップ層10とp型ZnSeコンタクト層12との界面にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11を挿入することが、この半導体レーザーの長寿命化に有効であることが裏付けられる。

【0038】次に、上述のように構成されたこの第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法について説明する。

【0039】この半導体レーザーを製造するには、まず、図示省略したIII-V族化合物半導体成長用のMBE装置の超高真空中に排気された真空容器内の基板ホルダーにn型GaAs基板1を装着する。次に、このn型GaAs基板1を所定のエピタキシャル成長温度に加熱した後、このn型GaAs基板1上にMBE法によりn型GaAsバッファ層2をエピタキシャル成長させる。この場合、ドナー不純物であるSiのドーピングは、Siの分子線源(Kセル)を用いて行う。なお、このn型GaAsバッファ層2のエピタキシャル成長は、n型GaAs基板1を例えば580℃付近の温度に加熱してその表面をサーマルエッチングすることにより表面酸化膜などを除去して表面清浄化を行った後に行ってもよい。

【0040】次に、このようにしてn型GaAsバッファ層2がエピタキシャル成長されたn型GaAs基板1を、図示省略した真空搬送路を介して、上述のIII-V族化合物半導体成長用のMBE装置から、図6に示すIII-V族化合物半導体成長用のMBE装置に搬送する。そして、この図6に示すMBE装置において、レーザー構造を形成する各III-V族化合物半導体層のエピタキシャル成長を行う。この場合、n型GaAsバッファ層2の表面は、そのエピタキシャル成長が行われてから図6に示すMBE装置に搬送される間に大気にさらされないで、清浄のまま保たれる。

【0041】図6に示すように、このMBE装置においては、図示省略した超高真空排気装置により超高真空中に排気された真空容器31内に基板ホルダー32が設けられ、この基板ホルダー32にエピタキシャル成長を行うべき基板が保持される。このエピタキシャル成長を行う基板は、ゲートバルブ33を介して真空容器31に取り付けられた予備室34から真空容器31内に導入される。この真空容器31内には、基板ホルダー32に対向

14

して複数の分子線源(Kセル)35が取り付けられている。この場合、この分子線源35としては、Zn、S、e、Mg、ZnS、TeおよびCdの各分子線源が用意されている。真空容器31内にはさらに、電子サイクロトロン共鳴(ECR)プラズマセル36が基板ホルダー32に対向して取り付けられている。このECRプラズマセル36には、マグネット37、マイクロ波導入端子38、窒素ガス導入管39およびプラズマ導出口40が設けられている。なお、ECRプラズマセル36の代わりに、高周波プラズマセルを用いてもよい。真空容器31内にはさらに、反射型高速電子回折(RHEED)電子銃41およびRHEEDスクリーン42が取り付けられており、基板表面のRHEEDパターンを観察することができるようになっている。

【0042】さて、n型GaAsバッファ層2上にレーザー構造を形成する各III-V族化合物半導体層をエピタキシャル成長させるためには、図6に示すMBE装置の真空容器31内の基板ホルダー32に、このn型GaAsバッファ層2がエピタキシャル成長されたn型GaAs基板1を装着する。次に、このn型GaAs基板1を所定のエピタキシャル成長温度、例えば250～300℃の範囲の温度に設定してMBE法によるエピタキシャル成長を開始する。すなわち、n型GaAsバッファ層2上に、n型ZnSeバッファ層3、n型ZnSSeバッファ層4、n型ZnMgSSeクラッド層5、n型ZnSSe光導波層6、活性層7、p型ZnSSe光導波層8、p型ZnMgSSeクラッド層9、p型ZnSSeキャップ層10、p型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11、p型ZnSeコンタクト層12、p型ZnSe/ZnTeMQW層13およびp型ZnTeコンタクト層14を順次エピタキシャル成長させる。

【0043】ここで、n型ZnSeバッファ層3、n型ZnSSeバッファ層4、n型ZnMgSSeクラッド層5およびn型ZnSSe光導波層6のドナー不純物としてのClのドーピングは、例えば、ZnCl<sub>2</sub>をドーパントとして用いて行う。また、p型ZnSSe光導波層8、p型ZnMgSSeクラッド層9、p型ZnSSeキャップ層10、p型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11、p型ZnSeコンタクト層12、p型ZnSe/ZnTeMQW層13およびp型ZnTeコンタクト層14のアクセプタ不純物としてのNのドーピングは、図6に示すMBE装置のECRプラズマセル36において、マグネット37による磁界の印加およびマイクロ波導入端子38からのマイクロ波の導入によって、窒素ガス導入管39から導入されるN<sub>2</sub>ガスのプラズマ化を行い、これにより発生されたN<sub>2</sub>プラズマを基板表面に照射することにより行う。

【0044】次に、p型ZnTeコンタクト層14上に一方向に延びる所定幅のストライプ形状のレジストパターン(図示せず)をリソグラフィにより形成した後、

このレジストパターンをマスクとしてp型ZnSSeキャップ層10の厚さ方向の途中の深さまでウェットエッチング法によりエッチングする。これによって、p型ZnSSeキャップ層10の上層部、p型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11、p型ZnSeコンタクト層12、p型ZnSe/ZnTeMQW層13およびp型ZnTeコンタクト層14がストライプ形状にパターンニングされる。

【0045】次に、上述のエッチングに用いたレジストパターンを残したまま全面にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜を真空蒸着した後、このレジストパターンを、その上に形成されたAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜とともに除去する（リフトオフ）。これによって、ストライプ部以外の部分のp型ZnSSeキャップ層10上にはのみAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜からなる絶縁層15が形成される。

【0046】次に、ストライプ形状のp型ZnTeコンタクト層14および絶縁層15の全面にPd膜、Pt膜およびAu膜を順次真空蒸着してPd/Pt/Au電極からなるp側電極16を形成し、このp側電極16をp型ZnTeコンタクト層14とオーミックコンタクトさせる。一方、n型GaAs基板1の裏面には、In電極のようなn側電極17を形成する。なお、p側電極16またはn側電極17を形成した後、熱処理を行ってもよい。

【0047】この後、以上のようにしてレーザー構造が形成されたn型GaAs基板1をバー状に劈開して両共振器端面を形成した後、例えば真空蒸着法により、フロント側の端面にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜18とSi膜19とを1周期積層した多層膜を形成するとともに、リア側の端面にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜18とSi膜19とを2周期積層した多層膜を形成する。このように端面コーティングを施した後、このバーを劈開してチップ化し、パッケージングを行う。

【0048】以上のように、この第1の実施形態による半導体レーザーによれば、p型ZnSSeキャップ層10とp型ZnSeコンタクト層12との界面にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11が挿入され、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11により伝導帯の下端に上に凸の部分形成されていることにより、通電時に活性層7から漏れ出た電子がp型ZnSe/ZnTeMQW層13に流入するのを有効に防止することができる。このため、p型ZnSe/ZnTeMQW層13の破壊を防止し、p側電極コンタクト部の劣化を抑制することができる。これによって、青色ないし緑色で発光可能な長寿命の半導体レーザーを実現することができる。

【0049】次に、この発明の第2の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0050】図7は、この第2の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0051】図7に示すように、この第2の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSSeキャップ層10中にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11が挿入されている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0052】また、この第2の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0053】この第2の実施形態によっても、第1の実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0054】次に、この発明の第3の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0055】図8は、この第3の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0056】図8に示すように、この第3の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSeコンタクト層12中にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11が挿入されている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0057】また、この第3の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0058】この第3の実施形態によっても、第1の実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0059】次に、この発明の第4の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0060】図9は、この第4の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0061】図9に示すように、この第4の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSSeキャップ層10とp型ZnSeコンタクト層12との界面にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層（ただし、0<x≤1かつ0<y≤1）20が挿入されている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0062】また、この第4の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0063】この第4の実施形態によっても、第1の実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0064】次に、この発明の第5の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0065】図10は、この第5の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0066】図10に示すように、この第5の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSSeキャップ層10中にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻

止層20が挿入されている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0067】また、この第5の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0068】この第5の実施形態によっても、第1の実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0069】次に、この発明の第6の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0070】図11は、この第6の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0071】図11に示すように、この第6の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSeコンタクト層12中にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20が挿入されている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0072】また、この第6の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0073】この第6の実施形態によっても、第1の実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0074】次に、この発明の第7の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0075】図12は、この第7の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0076】図12に示すように、この第7の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnMgSSeクラッド層9中にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20が挿入されている。ここで、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20のMg組成比xは、p型ZnMgSSeクラッド層9のMg組成比（例えば、0.11）よりも十分に大きく選ばれている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0077】この第7の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0078】この第7の実施形態によっても、第1の実施形態と同様の利点を得ることができる。さらに、この第7の実施形態によれば、p型ZnMgSSeクラッド層9中に挿入されたp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20により、この半導体レーザーの通電時に活性層7から漏れ出した電子がp型ZnMgSSeクラッド層9に到達したとしてもその途中に止めることができるため、この電子がp型ZnMgSSeクラッド層9中で正孔と非発光再結合することによるミクロな欠陥の移

動、増殖を抑えることができ、したがって活性層7の劣化を抑えることができ、半導体レーザーの長寿命化を図ることができる。

【0079】次に、この発明の第8の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0080】図13は、この第8の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0081】図13に示すように、この第8の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSSe光導波層8とp型ZnMgSSeクラッド層9との界面にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20が挿入されている。この場合、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20は、Mg組成比xがその厚さ方向に徐々に変化しており、いわゆるグレーディッド層となっている。より具体的には、この場合、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20のMg組成比xは、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20とp型ZnMgSSeクラッド層9との界面においてはこのp型ZnMgSSeクラッド層9のMg組成比と一致しているが、p型ZnSSe光導波層8に向かうにしたがって徐々に増大している。これに伴い、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20の部分の伝導帯の下端は、p型ZnMgSSeクラッド層9からp型ZnSSe光導波層8に向かう方向に徐々に上昇している。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0082】この第8の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0083】この第8の実施形態によっても、第1の実施形態と同様の利点を得ることができる。さらに、この第8の実施形態によれば、p型ZnSSe光導波層8とp型ZnMgSSeクラッド層9との界面に挿入されたp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20により、この半導体レーザーの通電時に活性層7から漏れ出した電子がp型ZnMgSSeクラッド層9に到達するのを有効に防止することができるため、この電子がp型ZnMgSSeクラッド層9中で正孔と非発光再結合することによるミクロな欠陥の移動、増殖を抑えることができ、したがって活性層7の劣化を抑えることができ、半導体レーザーの長寿命化を図ることができる。

【0084】次に、この発明の第9の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0085】図14は、この第9の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0086】図14に示すように、この第9の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnMgSSeクラッド層9とp型ZnSSeキャップ層10との界面

に p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 が挿入されている。この場合、この p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 は Mg 組成比  $x$  がその厚さ方向に徐々に変化しており、いわゆるグレーディッド層となっている。より具体的には、この場合、この p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 の Mg 組成比  $x$  は、この p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 と p 型  $ZnMgSSe$  クラッド層 9 との界面においてはこの p 型  $ZnMgSSe$  クラッド層 9 の Mg 組成比と一致しているが、p 型  $ZnSSe$  キャップ層 10 に向かうにしたがって徐々に増大している。これに伴い、この p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 の部分の伝導帯の下端は、p 型  $ZnMgSSe$  クラッド層 9 から p 型  $ZnSSe$  キャップ層 10 に向かう方向に徐々に上昇している。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0087】この第 9 の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0088】この第 9 の実施形態によっても、第 1 の実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0089】次に、この発明の第 10 の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0090】図 15 は、この第 10 の実施形態による半導体レーザーの活性層 7 と p 型  $ZnTe$  コンタクト層 14 との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0091】図 15 に示すように、この第 10 の実施形態による半導体レーザーにおいては、p 型  $ZnSSe$  キャップ層 10 と p 型  $ZnSe$  コンタクト層 12 との界面に p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 が挿入されている。この場合、この p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 のうちの p 型  $ZnSSe$  キャップ層 10 側の所定部分は Mg 組成比  $x$  がその厚さ方向に徐々に変化しており、いわゆるグレーディッド層となっている。具体的には、この場合、p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 のうちの p 型  $ZnSSe$  キャップ層 10 側の所定部分の Mg 組成比  $x$  は、この p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 と p 型  $ZnSSe$  キャップ層 10 との界面においては 0 であるが、p 型  $ZnSe$  コンタクト層 12 に向かうにしたがって徐々に増大している。また、この p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 のうちの p 型  $ZnSe$  コンタクト層 12 側の所定部分の Mg 組成比  $x$  は一定になっている。これに伴い、この p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 の部分の伝導帯の下端は、p 型  $ZnSSe$  キャップ層 10 から p 型  $ZnSe$  コンタクト層 12 に向かう方向に徐々に上昇した後、一定の高さになっている。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0092】この第 10 の実施形態による半導体レーザ

一の製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0093】この第 10 の実施形態によっても、第 1 の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0094】次に、この発明の第 11 の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0095】図 16 は、この第 11 の実施形態による半導体レーザーの活性層 7 と p 型  $ZnTe$  コンタクト層 14 との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0096】図 16 に示すように、この第 11 の実施形態による半導体レーザーにおいては、p 型  $ZnSSe$  キャップ層 10 中に p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 が挿入されている。この場合、この p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 の Mg 組成比  $x$  の変化は、第 10 の実施形態による半導体レーザーと同様である。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0097】この第 11 の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0098】この第 11 の実施形態によっても、第 1 の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0099】次に、この発明の第 12 の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0100】図 17 は、この第 12 の実施形態による半導体レーザーの活性層 7 と p 型  $ZnTe$  コンタクト層 14 との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0101】図 17 に示すように、この第 12 の実施形態による半導体レーザーにおいては、p 型  $ZnSe$  コンタクト層 12 中に p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 が挿入されている。この場合、この p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 の Mg 組成比  $x$  の変化は、第 10 の実施形態による半導体レーザーと同様である。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0102】この第 12 の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0103】この第 12 の実施形態によっても、第 1 の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0104】次に、この発明の第 13 の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0105】図 18 は、この第 13 の実施形態による半導体レーザーの活性層 7 と p 型  $ZnTe$  コンタクト層 14 との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0106】図 18 に示すように、この第 13 の実施形態による半導体レーザーにおいては、p 型  $ZnSSe$  キャップ層 10 と p 型  $ZnSe$  コンタクト層 12 との界面に p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$  電子阻止層 20 が挿入されている。この場合、この p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSy$

21

Se<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 のうちの p 型 ZnSe コンタクト層 12 側の所定部分は Mg 組成比 x がその厚さ方向に徐々に変化しており、いわゆるグレーディッド層となっている。具体的には、この場合、p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 のうちの p 型 ZnSe コンタクト層 12 側の所定部分の Mg 組成比 x は、ある一定値から、p 型 ZnSe コンタクト層 12 に向かうにしたがって徐々に減少し、この p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 と p 型 ZnSe コンタクト層 12 との界面においては 0 になっている。また、この p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 のうちの p 型 ZnSSe キャップ層 10 側の所定部分の Mg 組成比 x は一定になっている。これに伴い、この p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 の部分の伝導帯の下端は、ある範囲までは一定の高さであるが、その後、p 型 ZnSSe キャップ層 10 から p 型 ZnSe コンタクト層 12 に向かう方向に徐々に下降している。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0107】この第 13 の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0108】この第 13 の実施形態によっても、第 1 の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0109】次に、この発明の第 14 の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0110】図 19 は、この第 14 の実施形態による半導体レーザーの活性層 7 と p 型 ZnTe コンタクト層 14 との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0111】図 19 に示すように、この第 14 の実施形態による半導体レーザーにおいては、p 型 ZnSSe キャップ層 10 中に p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 が挿入されている。この場合、この p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 の Mg 組成比 x の変化は、第 13 の実施形態による半導体レーザーと同様である。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0112】この第 14 の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0113】この第 14 の実施形態によっても、第 1 の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0114】次に、この発明の第 15 の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0115】図 20 は、この第 15 の実施形態による半導体レーザーの活性層 7 と p 型 ZnTe コンタクト層 14 との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0116】図 20 に示すように、この第 15 の実施形態による半導体レーザーにおいては、p 型 ZnSe コンタクト層 12 中に p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子

22

阻止層 20 が挿入されている。この場合、この p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 の Mg 組成比 x の変化は、第 13 の実施形態による半導体レーザーと同様である。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0117】この第 15 の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0118】この第 15 の実施形態によっても、第 1 の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0119】次に、この発明の第 16 の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0120】図 21 は、この第 16 の実施形態による半導体レーザーの活性層 7 と p 型 ZnTe コンタクト層 14 との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0121】図 21 に示すように、この第 16 の実施形態による半導体レーザーにおいては、p 型 ZnSSe キャップ層 10 と p 型 ZnSe コンタクト層 12 との界面に p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 が挿入されている。この場合、この p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 19 のうちの p 型 ZnSSe キャップ層 10 側の所定部分および p 型 ZnSe コンタクト層 12 側の所定部分は、Mg 組成比 x がこの p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 の厚さ方向に変化しており、いわゆるグレーディッド層となっている。具体的には、この場合、この p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 のうちの p 型 ZnSSe キャップ層 10 側の所定部分の Mg 組成比 x は、この p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 と p 型 ZnSSe キャップ層 10 との界面においては 0 であるが、p 型 ZnSe コンタクト層 12 に向かうにしたがって徐々に増加している。また、この p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 のうちの p 型 ZnSe コンタクト層 12 側の所定部分の Mg 組成比 x は、ある一定値から、p 型 ZnSe コンタクト層 12 に向かうにしたがって徐々に減少し、この p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 と p 型 ZnSe コンタクト層 12 との界面においては 0 になっている。一方、この p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 のうちの中央部分の Mg 組成比 x は一定になっている。これに伴い、この p 型 Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub> 電子阻止層 20 の部分の伝導帯の下端は、p 型 ZnSSe キャップ層 10 から p 型 ZnSe コンタクト層 12 に向かう方向に徐々に上昇して一定の高さとなった後、下降している。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0122】この第 16 の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0123】この第 16 の実施形態によっても、第 1 の

実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0124】次に、この発明の第17の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0125】図22は、この第17の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0126】図22に示すように、この第17の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSSeキャップ層10中にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20が挿入されている。この場合、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20のMg組成比xの変化は、第16の実施形態による半導体レーザーと同様である。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0127】この第17の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0128】この第17の実施形態によっても、第1の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0129】次に、この発明の第18の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0130】図23は、この第18の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0131】図23に示すように、この第18の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSeコンタクト層12中にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20が挿入されている。この場合、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20のMg組成比xの変化は、第16の実施形態による半導体レーザーと同様である。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0132】この第18の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0133】この第18の実施形態によっても、第1の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0134】次に、この発明の第19の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0135】図24は、この第19の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0136】図24に示すように、この第19の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSSeキャップ層10とp型ZnSeコンタクト層12との界面に、障壁層としてのp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>層（ただし、 $0 < x \leq 1$ かつ $0 < y \leq 1$ ）と量子井戸層としてのp型Zn<sub>1-x</sub>CdxSe層（ただし、 $0 < x \leq 1$ ）とからなるp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>/Zn<sub>1-x</sub>CdxSe超格子電子阻止層21が挿入されてい

る。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0137】この第19の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0138】この第19の実施形態によっても、第1の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0139】次に、この発明の第20の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0140】図25は、この第20の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0141】図25に示すように、この第20の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSSeキャップ層10中にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>/Zn<sub>1-x</sub>CdxSe超格子電子阻止層21が挿入されている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0142】この第20の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0143】この第20の実施形態によっても、第1の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0144】次に、この発明の第21の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0145】図26は、この第21の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0146】図26に示すように、この第21の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSeコンタクト層12中にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>/Zn<sub>1-x</sub>CdxSe超格子電子阻止層21が挿入されている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0147】この第21の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0148】この第21の実施形態によっても、第1の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0149】次に、この発明の第22の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0150】図27は、この第22の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0151】図27に示すように、この第22の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnMgSSeクラッド層9中に、障壁層としてのp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>層（ただし、 $0 < x \leq 1$ かつ $0 \leq y \leq 1$ ）と量子井戸層としてのp型Zn<sub>1-x</sub>CdxSySe<sub>1-y</sub>層（ただし、 $0 \leq x \leq 1$ かつ $0 \leq y \leq 1$ ）とからな

る p 型  $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}/Zn_{1-x}Cd_xSySe_{1-y}$  超格子電子阻止層 22 が挿入されている。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0152】この第 22 の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0153】この第 22 の実施形態によっても、第 7 の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0154】次に、この発明の第 23 の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0155】図 28 は、この第 23 の実施形態による半導体レーザーの活性層 7 と p 型  $ZnTe$  コンタクト層 14 との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0156】図 28 に示すように、この第 23 の実施形態による半導体レーザーにおいては、p 型  $ZnSSe$  キャップ層 10 中に、障壁層としての p 型  $ZnMgSe$  層と量子井戸層としての p 型  $ZnCdSe$  層とを交互に積層した p 型  $ZnMgSe/ZnCdSe$  多重量子障壁 (MQB) 電子阻止層 23 が挿入されている。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。なお、MQB の原理については、例えば Electronics Letters 22(1986)1008 に説明がある。

【0157】この第 23 の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0158】この第 23 の実施形態によっても、第 1 の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0159】次に、この発明の第 24 の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0160】図 29 は、この第 24 の実施形態による半導体レーザーの活性層 7 と p 型  $ZnTe$  コンタクト層 14 との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0161】図 29 に示すように、この第 24 の実施形態による半導体レーザーにおいては、p 型  $ZnSSe$  光導波層 8 と p 型  $ZnMgSSe$  クラッド層 9 との界面に p 型  $ZnMgSe/ZnCdSe$  MQB 電子阻止層 23 が挿入されている。この場合、この p 型  $ZnMgSe/ZnCdSe$  MQB 電子阻止層 23 の伝導帯の下端が周囲よりも上に凸の形状になっている必要は必ずしもなく、図 30 に示すように、そのよりエネルギーの高い伝導帯、すなわちハイパーバンド (図 30 中、破線で示す) が周囲よりも上に凸になっているればよい。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0162】この第 24 の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0163】この第 24 の実施形態によっても、第 7 の

実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0164】次に、この発明の第 25 の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0165】図 31 は、この第 25 の実施形態による半導体レーザーの活性層 7 と p 型  $ZnTe$  コンタクト層 14 との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0166】図 31 に示すように、この第 25 の実施形態による半導体レーザーにおいては、p 型  $ZnMgSSe$  クラッド層 9 中に p 型  $ZnMgSe/ZnCdSe$  MQB 電子阻止層 23 が挿入されている。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0167】この第 25 の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0168】この第 25 の実施形態によっても、第 7 の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0169】次に、この発明の第 26 の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0170】図 32 は、この第 26 の実施形態による半導体レーザーの活性層 7 と p 型  $ZnTe$  コンタクト層 14 との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0171】図 32 に示すように、この第 26 の実施形態による半導体レーザーにおいては、p 型  $ZnMgSSe$  クラッド層 9 と p 型  $ZnSSe$  キャップ層 10 との界面に p 型  $ZnMgSe/ZnCdSe$  MQB 電子阻止層 23 が挿入されている。第 24 の実施形態と同様に、この p 型  $ZnMgSe/ZnCdSe$  MQB 電子阻止層 23 の伝導帯の下端が上に凸の形状になっている必要は必ずしもなく、そのハイパーバンドが周囲よりも上に凸になっているればよい。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0172】この第 26 の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第 1 の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0173】この第 26 の実施形態によっても、第 1 の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0174】次に、この発明の第 27 の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0175】図 33 は、この第 27 の実施形態による半導体レーザーの活性層 7 と p 型  $ZnTe$  コンタクト層 14 との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0176】図 33 に示すように、この第 27 の実施形態による半導体レーザーにおいては、p 型  $ZnSSe$  キャップ層 10 と p 型  $ZnSe/ZnTe$  MQW 層 13 との界面に p 型  $ZnMgSe/ZnCdSe$  MQB 電子阻止層 23 が挿入されている。その他の構成は、第 1 の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。



27

【0177】この第27の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0178】この第27の実施形態によっても、第1の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0179】次に、この発明の第28の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0180】図34は、この第28の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0181】図34に示すように、この第28の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSeコンタクト層12とp型ZnSe/ZnTeMQW層13との界面にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>Se電子阻止層11が挿入されている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0182】この第28の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0183】この第28の実施形態によっても、第1の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0184】次に、この発明の第29の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0185】図35は、この第29の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0186】図35に示すように、この第29の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSSeキャップ層10とp型ZnSeコンタクト層12との界面にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>/Zn<sub>1-x</sub>CdxSe超格子電子阻止層21が挿入されている。この場合、第19の実施形態と異なり、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>/Zn<sub>1-x</sub>CdxSe超格子電子阻止層21の量子井戸層としてのp型Zn<sub>1-x</sub>CdxSe層の価電子帯の上端が上に凸の形状になっている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0187】この第29の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0188】この第29の実施形態によっても、第1の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0189】次に、この発明の第30の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0190】図36は、この第30の実施形態による半導体レーザーの活性層7とp型ZnTeコンタクト層14との間の部分のエネルギーバンド図である。

【0191】図36に示すように、この第30の実施形態による半導体レーザーにおいては、第1の実施形態による半導体レーザーにおけるp型ZnSe/ZnTeM

28

QW層13の代わりに、障壁層としてのp型ZnMgSe層と量子井戸層としてのp型ZnTe層とを交互に積層したp型ZnMgSe/ZnTeMQW層24が設けられている。この場合、このp型ZnMgSe/ZnTeMQW層24の障壁層としてのp型ZnMgSe層の伝導帯の下端はp型ZnSe/ZnTeMQW層13の障壁層としてのp型ZnSe層の伝導帯の下端に比べて高く、このp型ZnMgSe層により、活性層7から漏れ出した電子がp型ZnMgSe/ZnTeMQW層24に流入するのがより有効に阻止される。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0192】この第30の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0193】この第30の実施形態によっても、第1の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0194】次に、この発明の第31の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0195】図37は、この第31の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【0196】図37に示すように、この第31の実施形態による半導体レーザーにおいては、p型ZnSSe光導波層8とp型ZnMgSSeクラッド層9との界面にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20が挿入されている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0197】図46は、p型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20のMg組成比xとオーバーフロー電子量との関係を示す。ただし、p型ZnMgSSeクラッド層9のMg組成比は10%、キャリア濃度は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ で一定である。図46より、p型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20のMg組成比xの増加に伴い、オーバーフロー電子量が顕著に減少することがわかる。

【0198】この第31の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0199】この第31の実施形態によっても、第8の実施形態と同様な利点を得ることができる。

【0200】次に、この発明の第32の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0201】図38は、この第32の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【0202】図38に示すように、この第32の実施形態による半導体レーザーにおいては、活性層7とp型ZnSSe光導波層8との界面にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20が挿入されている。この場合、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20は、Mg組成比xがその厚さ方向に徐々に変化してお

り、いわゆるグレーディッド層となっている。より具体的には、この場合、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20のMg組成比xは、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20とp型ZnSSe光導波層8との界面においてはx=0であるが、p型ZnSSe光導波層8に向かうにしたがって徐々に増大している。これに伴い、このp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20の部分の伝導帯の下端は、p型ZnMgSSeクラッド層9からp型ZnSSe光導波層8に向かう方向に徐々に上昇している。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0203】この第32の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0204】この第32の実施形態によっても、第8の実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0205】次に、この発明の第33の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0206】図39は、この第33の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【0207】図39に示すように、この第33の実施形態による半導体レーザーにおいては、活性層7とp型ZnSSe光導波層8と界面にp型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>電子阻止層20が挿入されている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0208】この第33の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0209】この第33の実施形態によっても、第8の実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0210】次に、この発明の第34の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0211】図40は、この第34の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【0212】図40に示すように、この第34の実施形態による半導体レーザーにおいては、n型ZnSSe光導波層6とn型ZnMgSSeクラッド層5との界面にn型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>正孔阻止層25が挿入されている。この場合、このn型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>正孔阻止層25は、S組成比yがその厚さ方向に徐々に変化しており、いわゆるグレーディッド層となっている。より具体的には、この場合、このn型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>正孔阻止層25のS組成比yは、このn型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>正孔阻止層25とn型ZnMgSSeクラッド層5との界面においてはこのn型ZnMgSSeクラッド層5のS組成比と一致しているが、n型ZnSSe光導波層6に向かうにしたがって徐々に増大している。これに伴い、このn型Zn<sub>1-x</sub>

Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>正孔阻止層25の部分の価電子帯の上端は、n型ZnMgSSeクラッド層5からn型ZnSSe光導波層6に向かう方向に徐々に下降している。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0213】この第34の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0214】この第34の実施形態によっても、第8の実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0215】次に、この発明の第35の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0216】図41は、この第35の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【0217】図41に示すように、この第35の実施形態による半導体レーザーにおいては、n型ZnSSe光導波層6とn型ZnMgSSeクラッド層5との界面にn型Zn<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>SySe<sub>1-y</sub>正孔阻止層25が挿入されている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0218】この第34の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0219】この第34の実施形態によっても、第7の実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0220】次に、この発明の第36の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0221】図42は、この第36の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【0222】図42に示すように、この第36の実施形態による半導体レーザーにおいては、n型ZnSSe光導波層6とn型ZnMgSSeクラッド層5との界面にn型ZnSSe正孔阻止層26が挿入されている。この場合、このn型ZnSSe正孔阻止層26は、S組成比がその厚さ方向に徐々に変化しており、いわゆるグレーディッド層となっている。より具体的には、この場合、このn型ZnSSe正孔阻止層26のS組成比は、このn型ZnSSe正孔阻止層26とn型ZnSSe光導波層6との界面においてはこのn型ZnSSe光導波層6のS組成比と一致しているが、活性層7に向かうにしたがって徐々に増大している。これに伴い、このn型ZnSSe正孔阻止層26の部分の価電子帯の上端は、n型ZnMgSSeクラッド層5から活性層7に向かう方向に徐々に下降している。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0223】この第36の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0224】この第36の実施形態によっても、第8の

実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0225】次に、この発明の第37の実施形態による半導体レーザーについて説明する。

【0226】図43は、この第37の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【0227】図43に示すように、この第37の実施形態による半導体レーザーにおいては、活性層7とn型ZnSSe光導波層6と界面にn型ZnSSe正孔阻止層26が挿入されている。その他の構成は、第1の実施形態による半導体レーザーと同様であるので、説明を省略する。

【0228】この第37の実施形態による半導体レーザーの製造方法は、第1の実施形態による半導体レーザーの製造方法と同様であるので、説明を省略する。

【0229】この第37の実施形態によっても、第8の実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0230】以上、この発明の実施形態について具体的に説明したが、この発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。

【0231】例えば、上述の第1～第37の実施形態を任意に組み合わせてもよい。また、電子阻止層はp型光導波層中に挿入してもよい。また、上述の第1～第37の実施形態において用いられているn型ZnSSe光導波層6およびp型ZnSSe光導波層8の代わりに、n型ZnSe光導波層およびp型ZnSe光導波層を用いてもよい。同様に、p型ZnSSeキャップ層10の代わりにp型ZnSeキャップ層を用いてもよい。さらに、活性層7は例えばZnCdSSeやZnSeにより構成してもよい。

【0232】また、例えば、上述の第1～第37の実施形態において、p型ZnSe/ZnTeMQW層13のp型ZnTe層の代わりにp型BeTe層またはp型GaAs層を用い、p型ZnTeコンタクト層14の代わりにp型BeTeコンタクト層またはp型GaAsコンタクト層を用い、n型ZnSSe光導波層6およびp型ZnSSe光導波層8の代わりにそれぞれn型BeZnSe光導波層およびp型BeZnSe光導波層を用い、n型ZnMgSSeクラッド層5およびp型ZnMgSSeクラッド層9の代わりにそれぞれn型BeMgZnSeクラッド層およびp型BeMgZnSeクラッド層を用いてもよい。このようにn型BeMgZnSeクラッド層およびp型BeMgZnSeクラッド層を用いる場合に電子阻止層をBeMgZnSeにより形成するには、そのMgおよび/またはBeの組成比をn型BeMgZnSeクラッド層およびp型BeMgZnSeクラッド層のMgおよび/またはBeの組成比に比べて高くすればよい。

【0233】さらに、上述の第1～第37の実施形態においては、この発明をSCH構造の半導体レーザーに適

用した場合について説明したが、この発明は、DH (Double Heterostructure) 構造の半導体レーザーはもちろん、発光ダイオードに適用することも可能である。

【0234】

【発明の効果】以上説明したように、この発明による半導体発光素子によれば、活性層と多重量子井戸層との間にII-VI族化合物半導体からなる電子阻止層が少なくとも一層挿入され、あるいは、多重量子井戸層の障壁層が電子阻止層を構成していることにより、通電時に活性層から漏れ出た電子がp側電極コンタクト部の多重量子井戸層に到達するのを有効に抑制することができ、このため多重量子井戸層の破壊を防止することができる。これによって、通電時の動作電圧の増加を防止することができ、長寿命のII-VI族化合物半導体を用いた半導体発光素子を実現することができる。

【0235】また、この発明による半導体発光素子によれば、活性層とp型クラッド層との間またはp型クラッド層中にII-VI族化合物半導体からなる電子阻止層が少なくとも一層挿入されているので、通電時に活性層から漏れ出た電子がp型クラッド層に到達するのを有効に防止することができ、あるいは、p型クラッド層に到達しても途中で止めることができ、このためp型クラッド層などで非発光再結合が生じるのを防止することができる。これによって、通電時の活性層の劣化を抑えることができ、長寿命のII-VI族化合物半導体を用いた半導体発光素子を実現することができる。

【0236】さらに、この発明による半導体発光素子によれば、活性層とn型クラッド層との間またはn型クラッド層中にII-VI族化合物半導体からなる正孔阻止層が少なくとも一層挿入されているので、通電時に活性層から漏れ出た正孔がn型クラッド層に到達するのを有効に防止することができ、あるいは、n型クラッド層に到達しても途中で止めることができ、このためn型クラッド層などで非発光再結合が生じるのを防止することができる。これによって、通電時の活性層の劣化を抑えることができ、長寿命のII-VI族化合物半導体を用いた半導体発光素子を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1の実施形態による半導体レーザーの共振器長方向に垂直な断面図である。

【図2】この発明の第1の実施形態による半導体レーザーの共振器長方向に平行な断面図である。

【図3】この発明の第1の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図4】ZnMgSSe層のMg組成と臨界膜厚との関係を示すグラフである。

【図5】この発明の第1の実施形態による半導体レーザーのACCエージングデータを示す略線図である。

【図6】この発明の実施形態による半導体レーザーの製造に用いられるMBE装置を示す略線図である。

【図7】この発明の第2の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図8】この発明の第3の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図9】この発明の第4の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図10】この発明の第5の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図11】この発明の第6の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図12】この発明の第7の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図13】この発明の第8の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図14】この発明の第9の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図15】この発明の第10の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図16】この発明の第11の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図17】この発明の第12の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図18】この発明の第13の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図19】この発明の第14の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図20】この発明の第15の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図21】この発明の第16の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図22】この発明の第17の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図23】この発明の第18の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図24】この発明の第19の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図25】この発明の第20の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図26】この発明の第21の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図27】この発明の第22の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図28】この発明の第23の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図29】この発明の第24の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図30】この発明の第24の実施形態による半導体レーザーの原理を説明するためのエネルギーバンド図である。

【図31】この発明の第25の実施形態による半導体

レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図32】この発明の第26の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図33】この発明の第27の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図34】この発明の第28の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図35】この発明の第29の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

10 【図36】この発明の第30の実施形態による半導体レーザーの要部のエネルギーバンド図である。

【図37】この発明の第31の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【図38】この発明の第32の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【図39】この発明の第33の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【図40】この発明の第34の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

20 【図41】この発明の第35の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【図42】この発明の第36の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【図43】この発明の第37の実施形態による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【図44】ZnMgSSeからなるクラッド層のエネルギーギャップを変化させてしきい値電流 $I_{th}$ の温度依存性を計算で求めた結果を示す略線図である。

30 【図45】 $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$ のMg組成比xおよびS組成比yと77Kにおけるエネルギーギャップおよび格子定数との関係を示す略線図である。

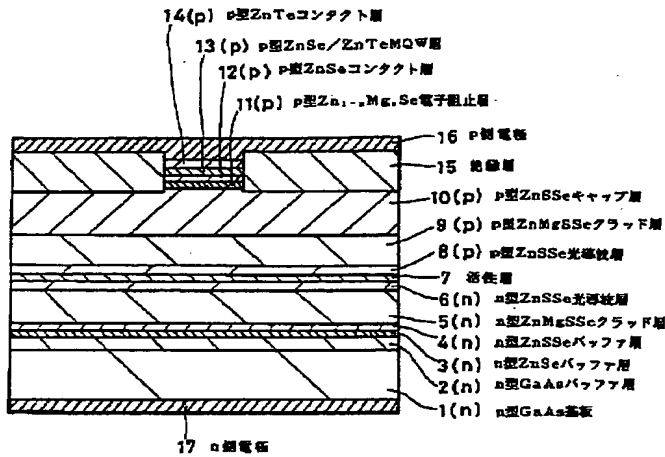
【図46】p型 $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$ 電子阻止層のMg組成比xとオーバーフロー電子量との関係を示す略線図である。

【符号の説明】

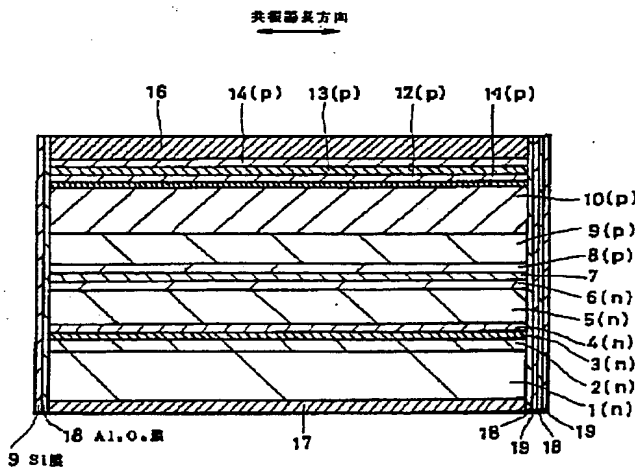
1・・・n型GaAs基板、5・・・n型ZnMgSSeクラッド層、7・・・活性層、9・・・p型ZnMgSSeクラッド層、10・・・p型ZnSSeキャップ層、11・・・p型 $Zn_{1-x}Mg_xSe$ 電子阻止層、12・・・p型ZnSeコンタクト層、13・・・p型ZnSe/ZnTeMQW層、14・・・p型ZnTeコンタクト層、16・・・p側電極、17・・・n側電極、20・・・p型 $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$ 電子阻止層、21・・・p型 $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}/Zn_{1-x}Cd_xSe$ 超格子電子阻止層、22・・・p型 $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}/Zn_{1-x}Cd_xSySe_{1-y}$ 超格子電子阻止層、23・・・p型ZnMgSe/ZnCdSeMQB電子阻止層、24・・・p型ZnMgSe/ZnTeMQW層、25・・・n型 $Zn_{1-x}Mg_xSySe_{1-y}$ 正孔阻止層、26・・・n型ZnSS

e 正孔阻止層

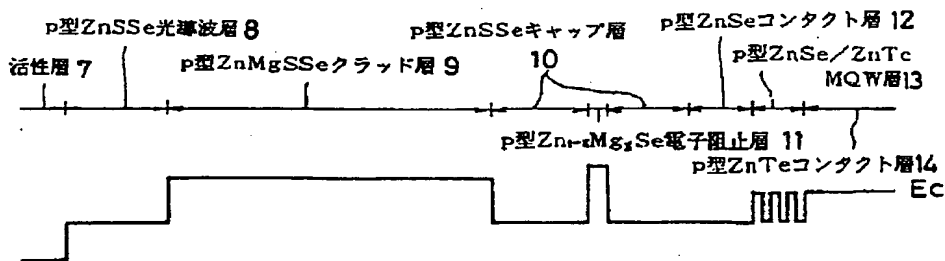
【図1】



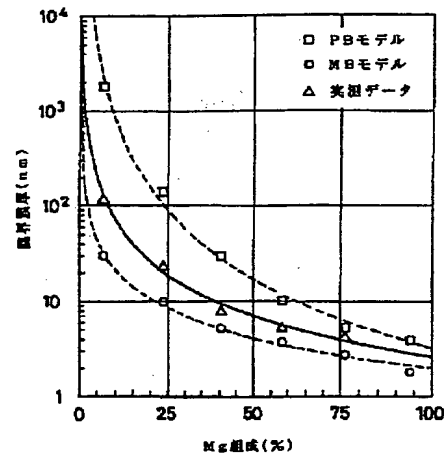
【図2】



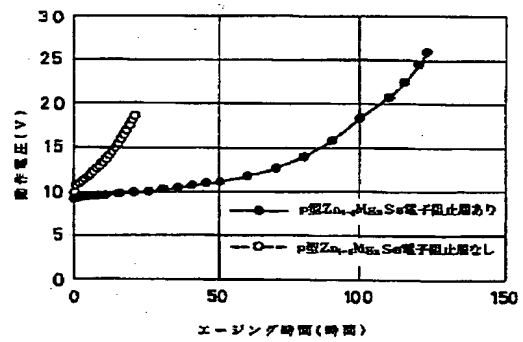
【図7】



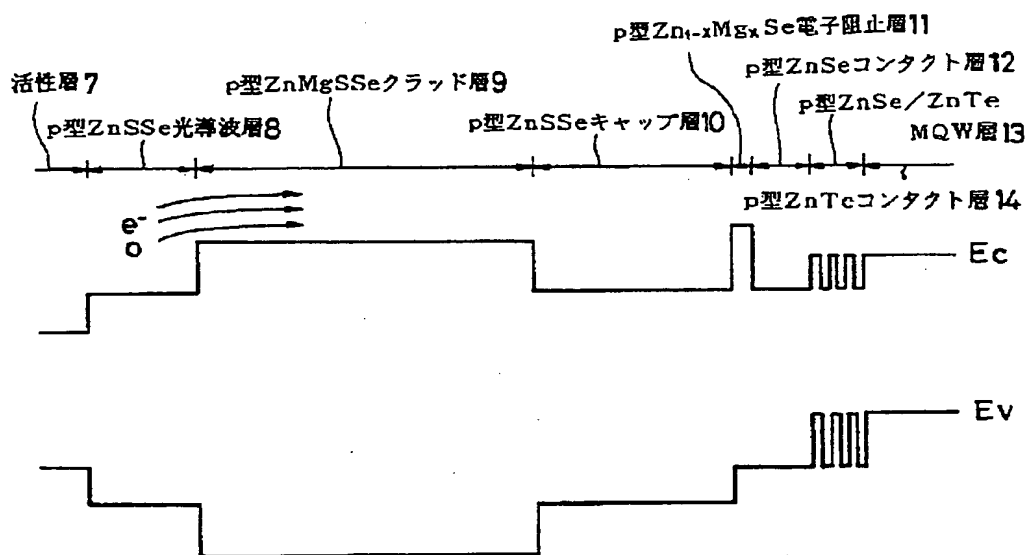
【図4】



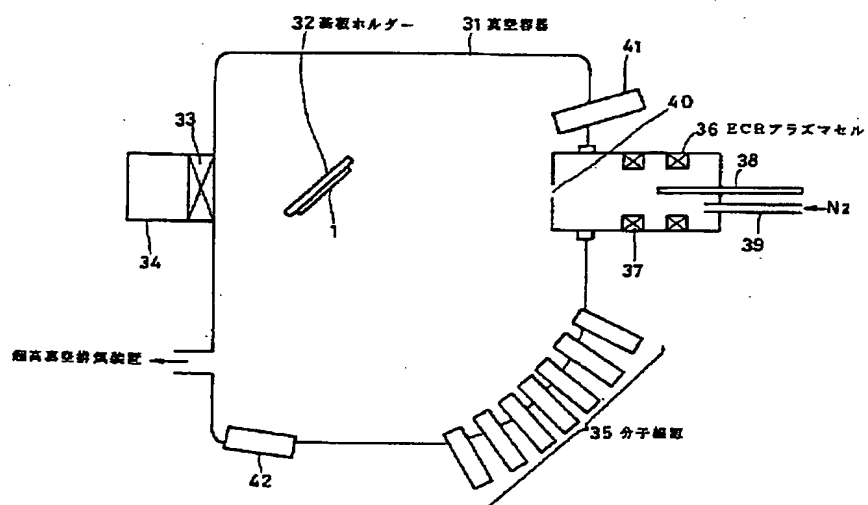
【図5】



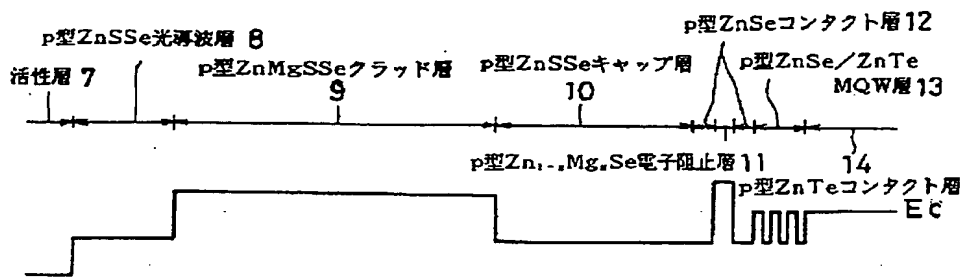
【図3】



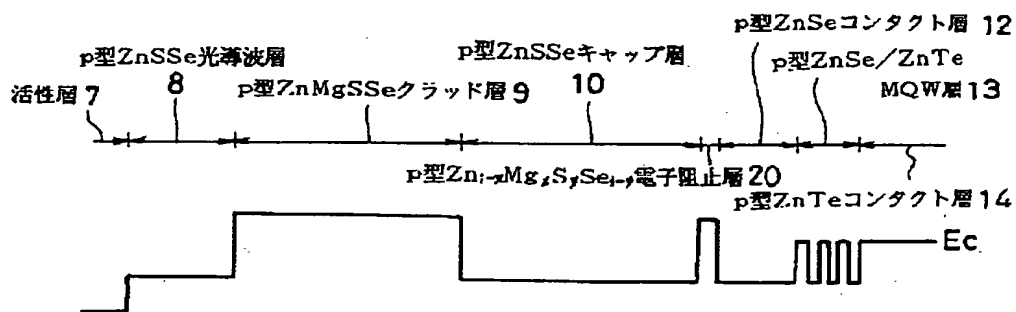
【図6】



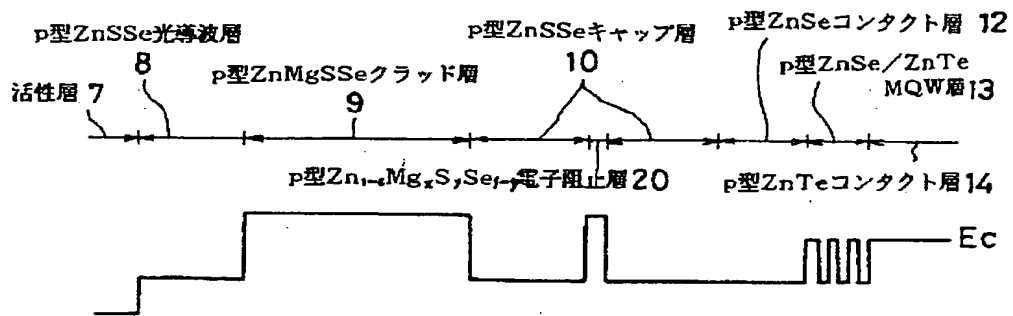
【図8】



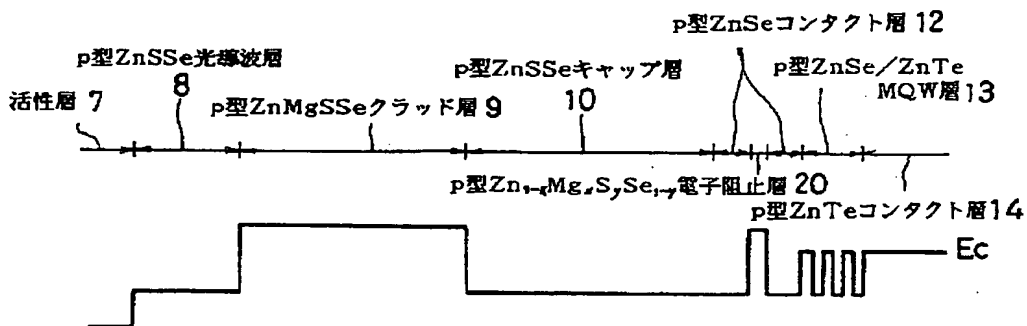
【図9】



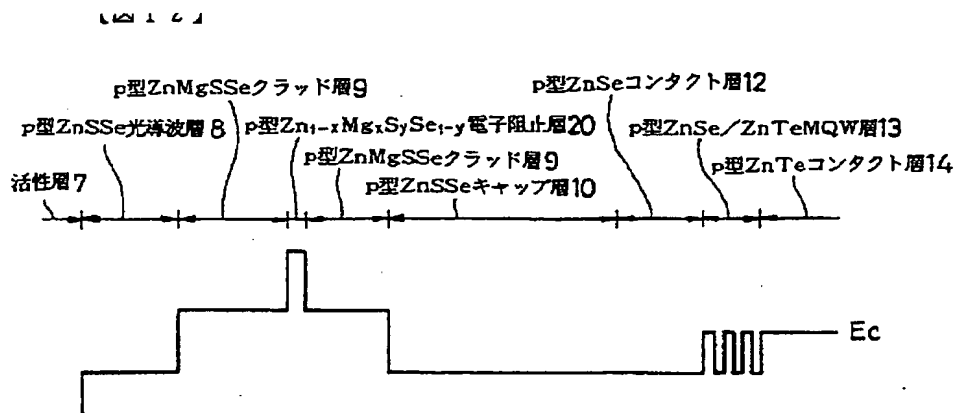
【図10】



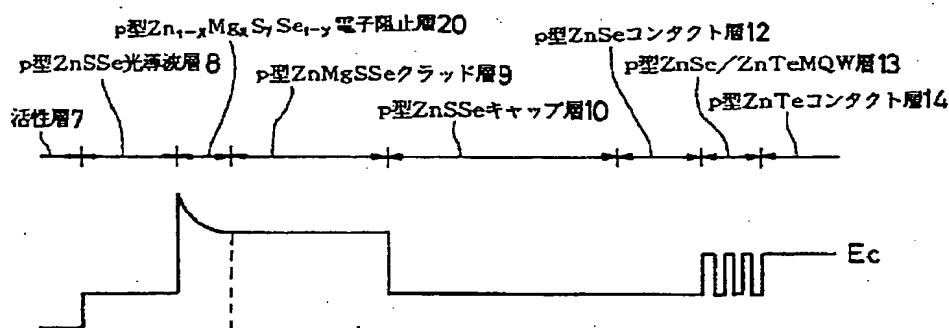
【図11】



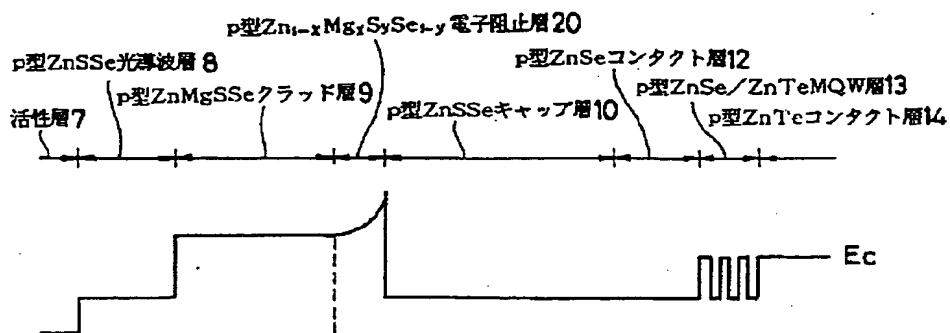
【図12】



【図13】

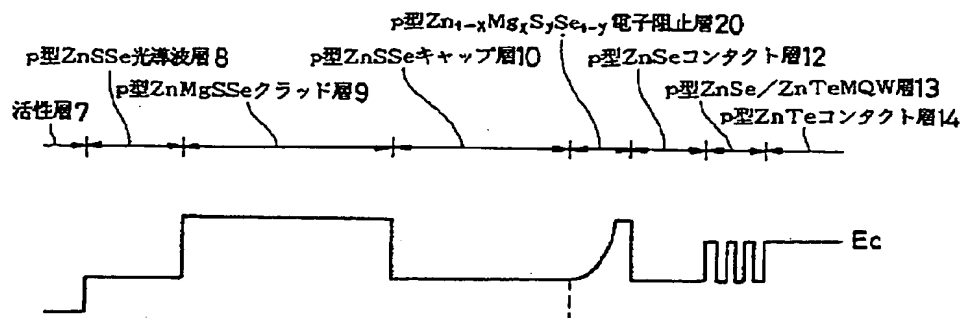


【図14】

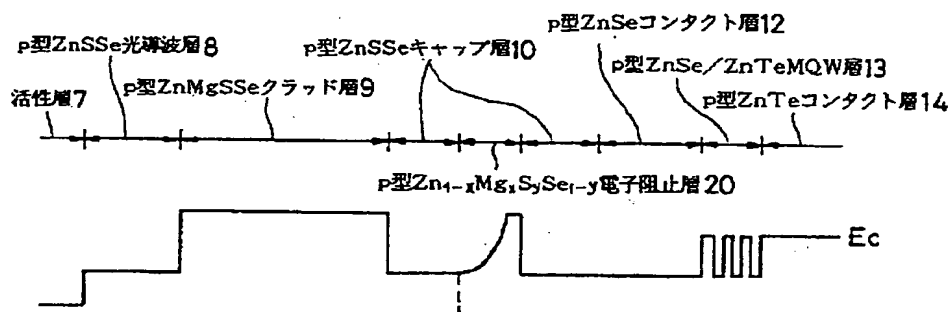




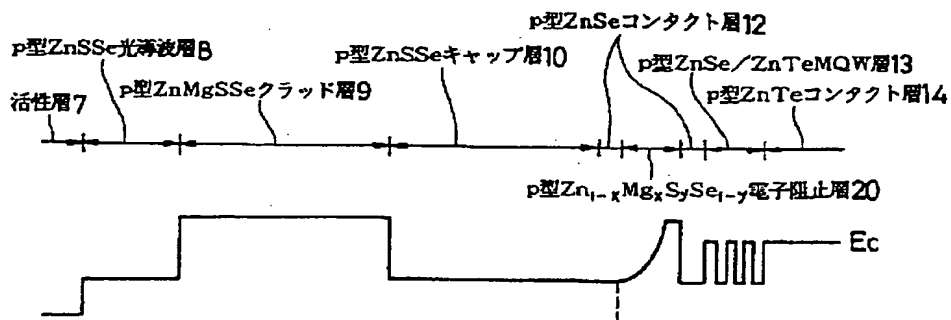
【図15】



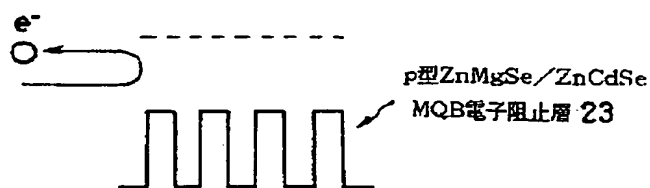
【図16】



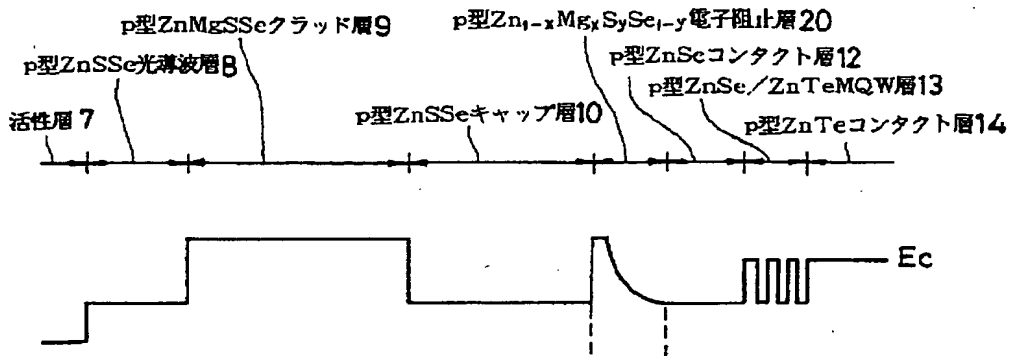
【図17】



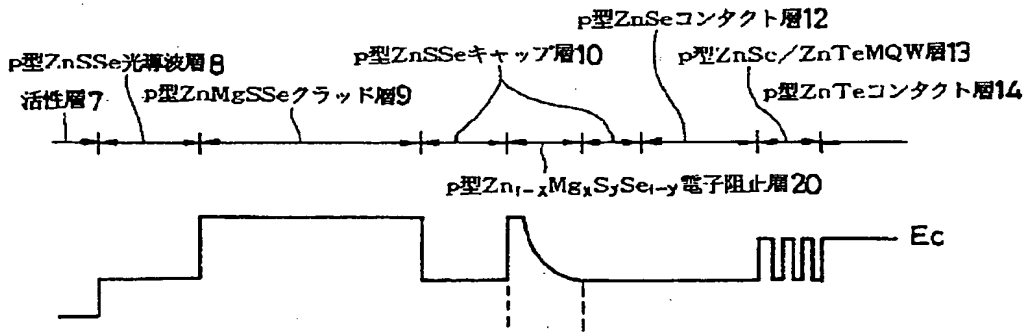
【図30】



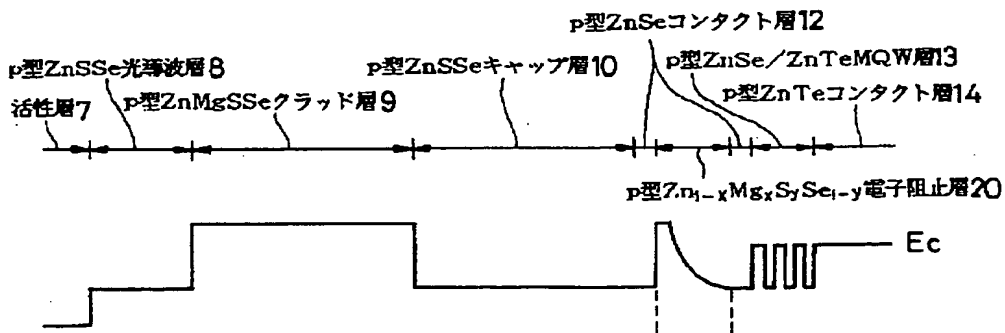
【図18】



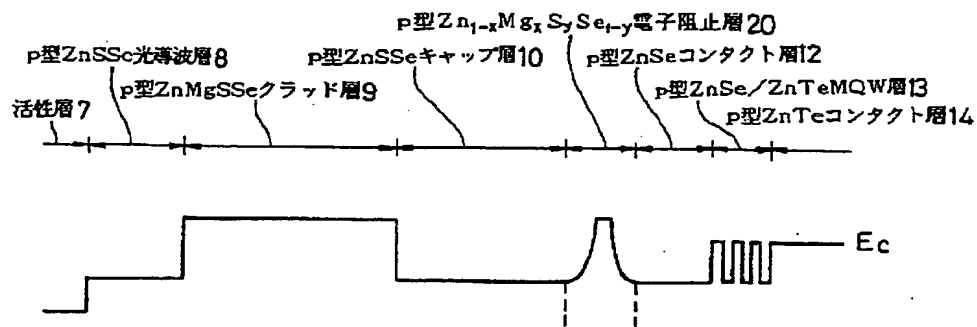
【図19】



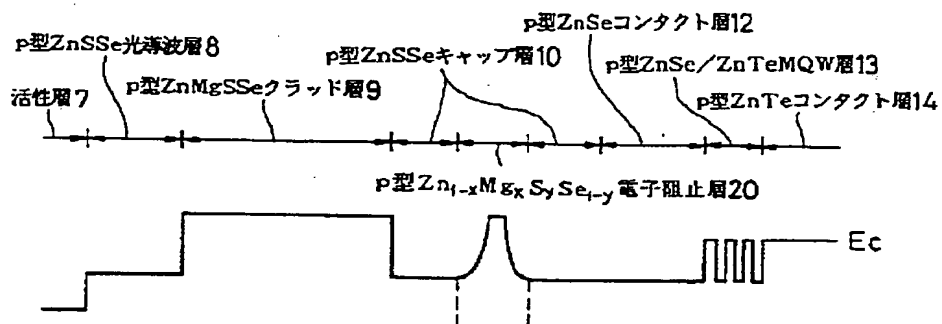
【図20】



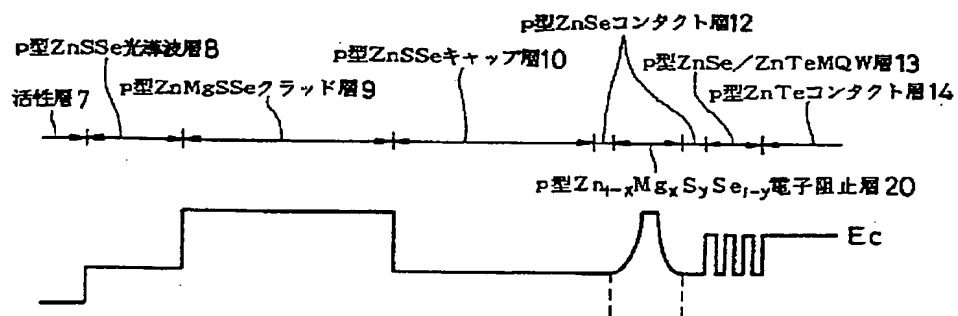
【図21】



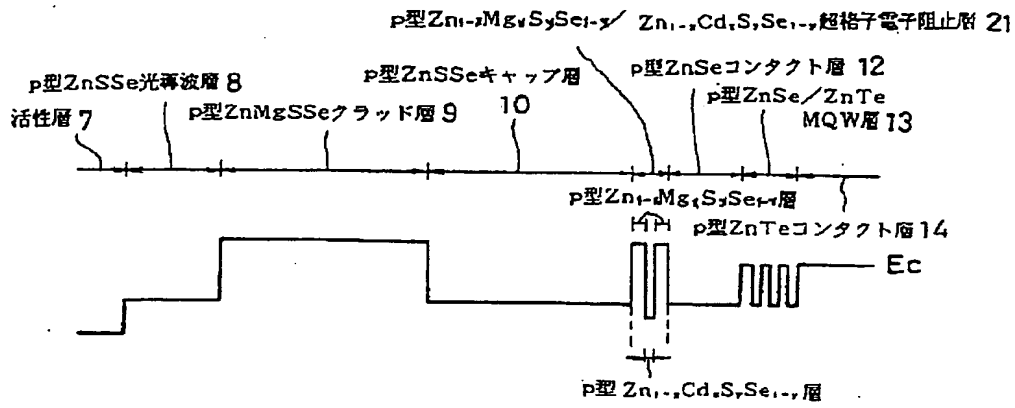
【図22】



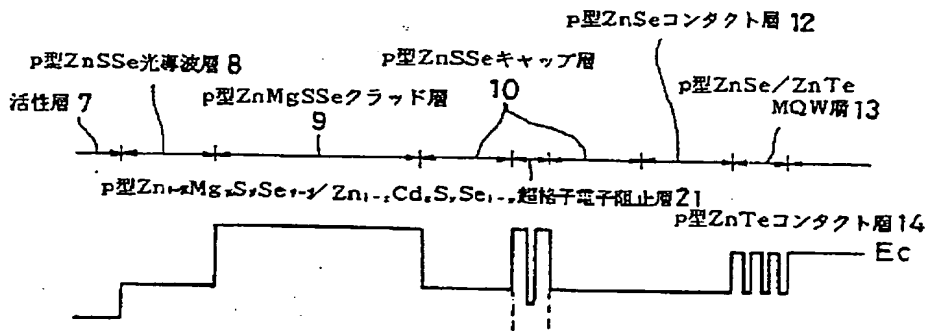
【図23】



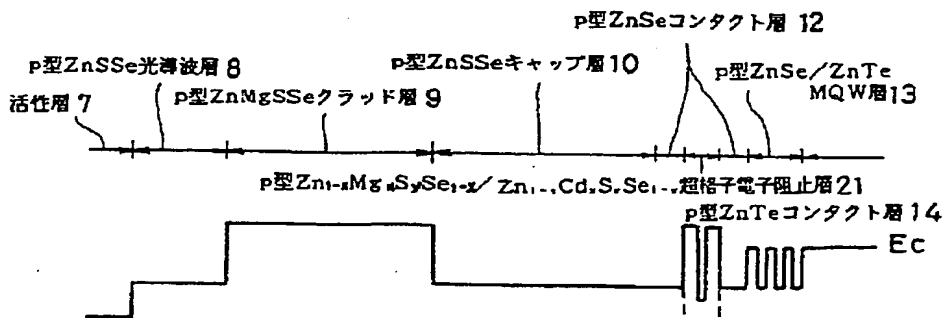
【図 24】



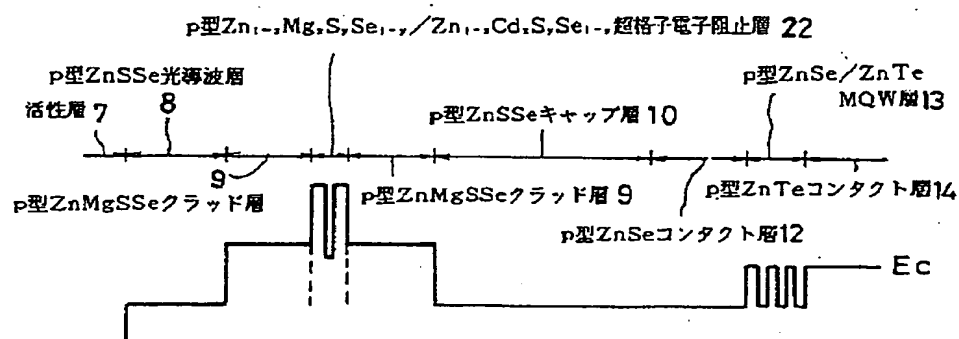
【図 25】



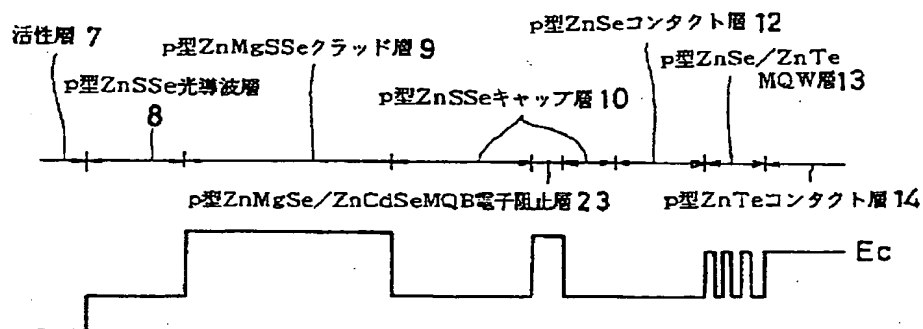
【図 26】



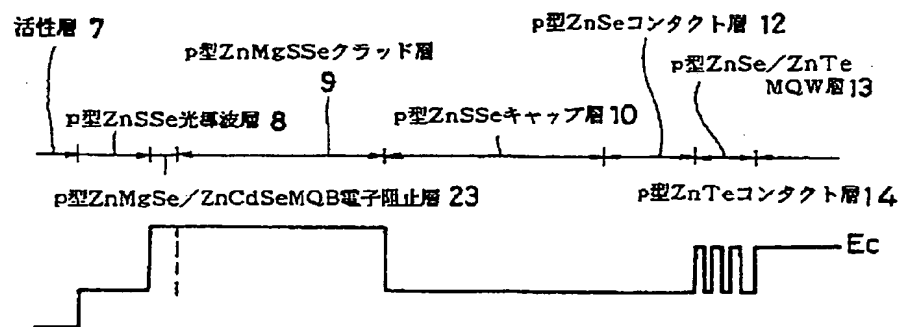
【図27】



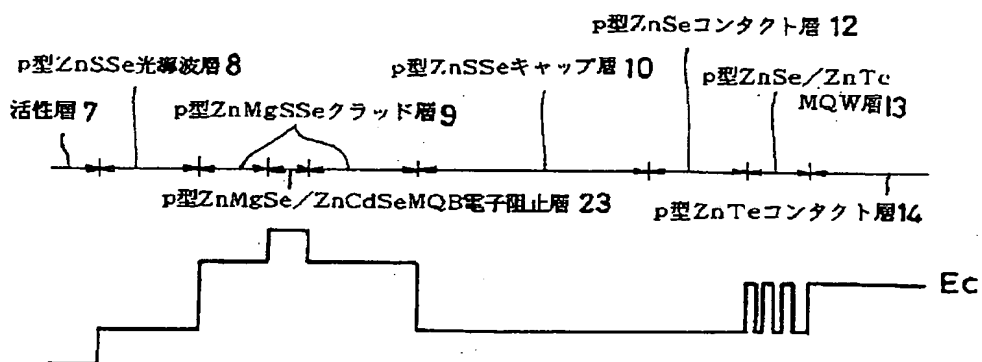
【図28】



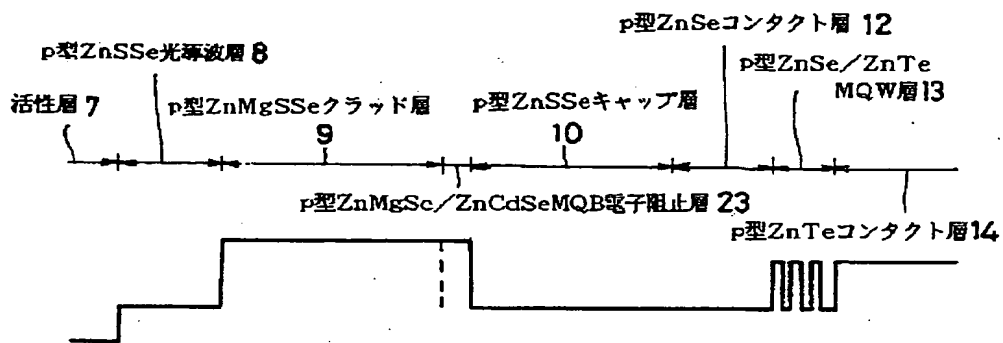
【図29】



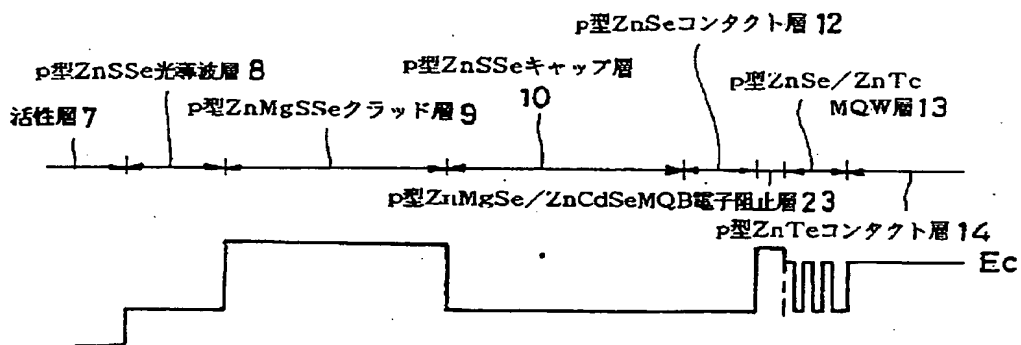
【図 3 1】



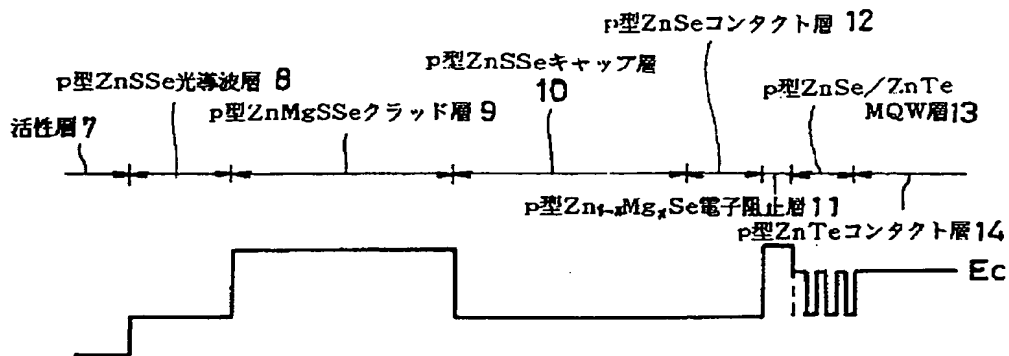
【図 3 2】



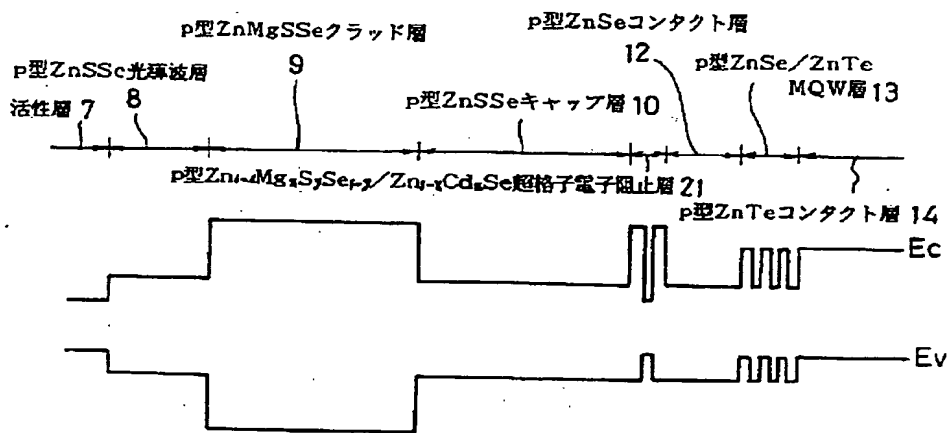
【図 3 3】



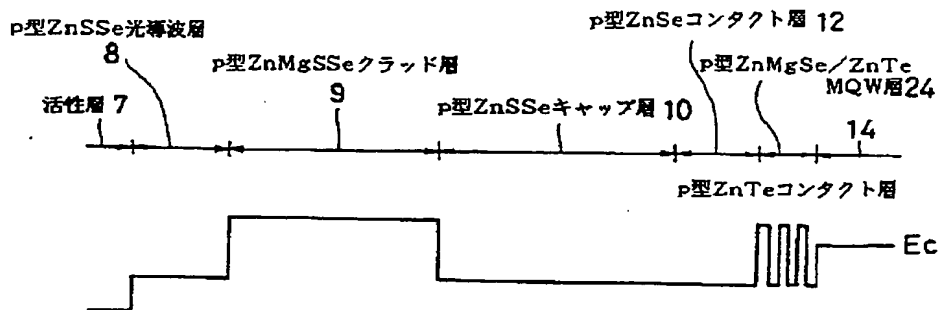
【図34】



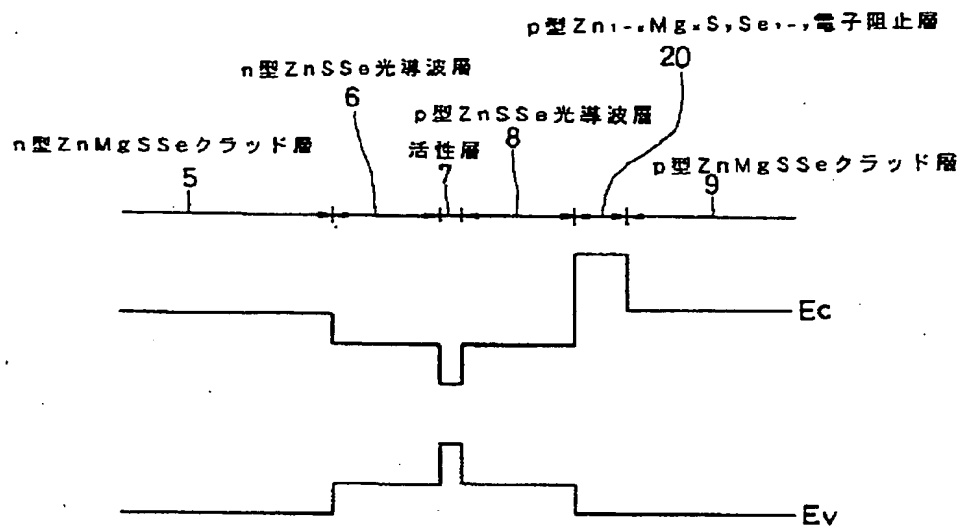
【図35】



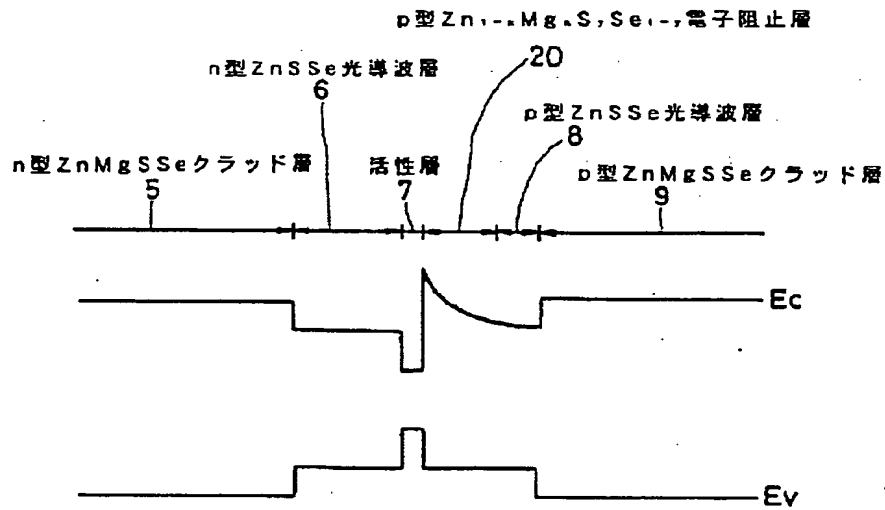
【図36】



【図37】

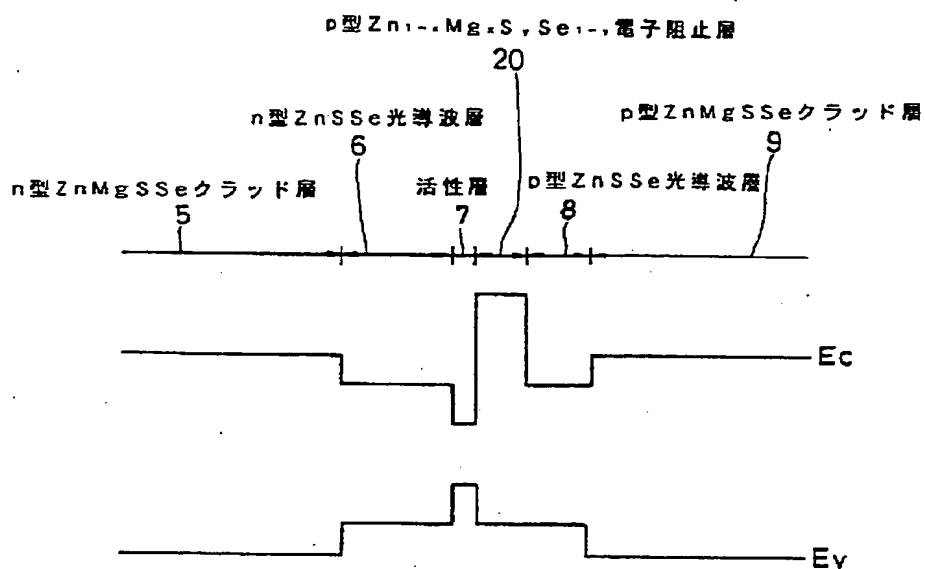


【図38】

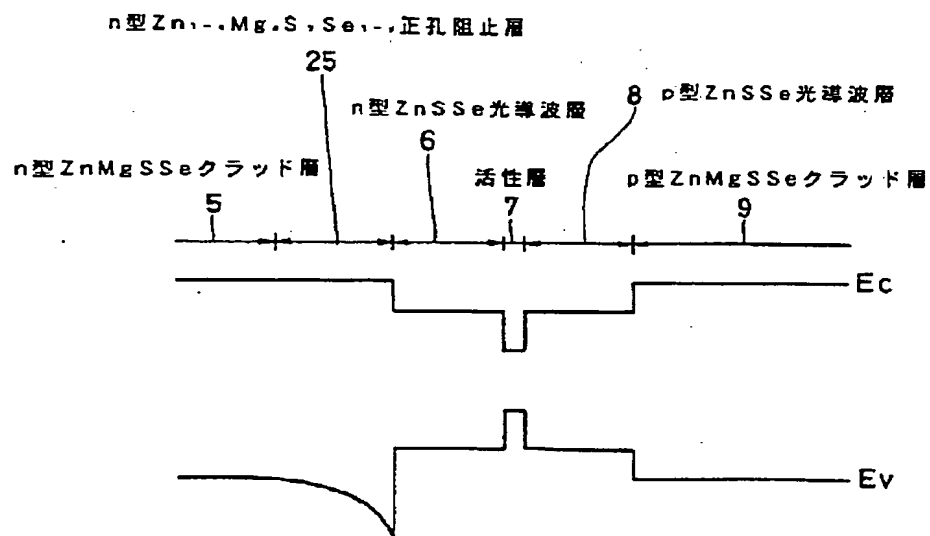




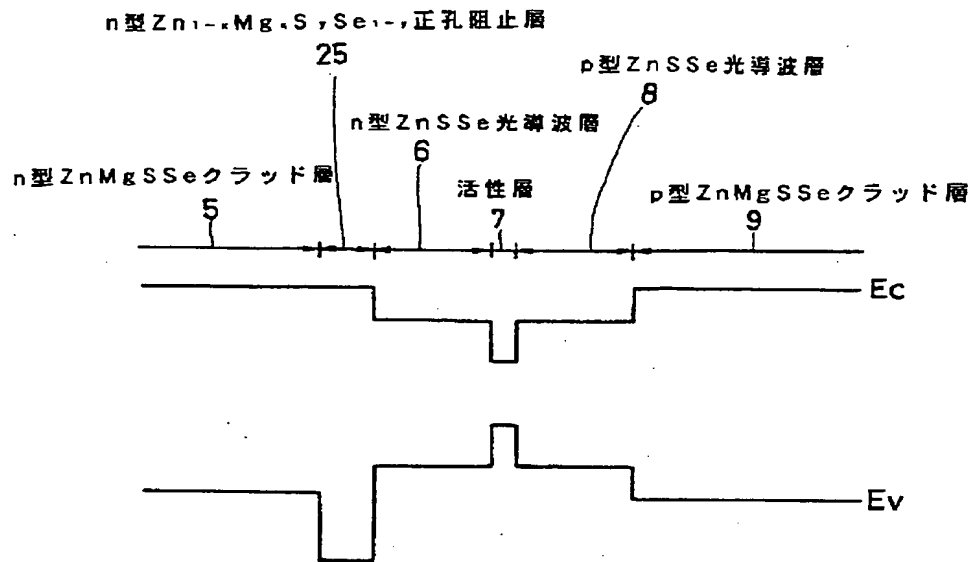
【図39】



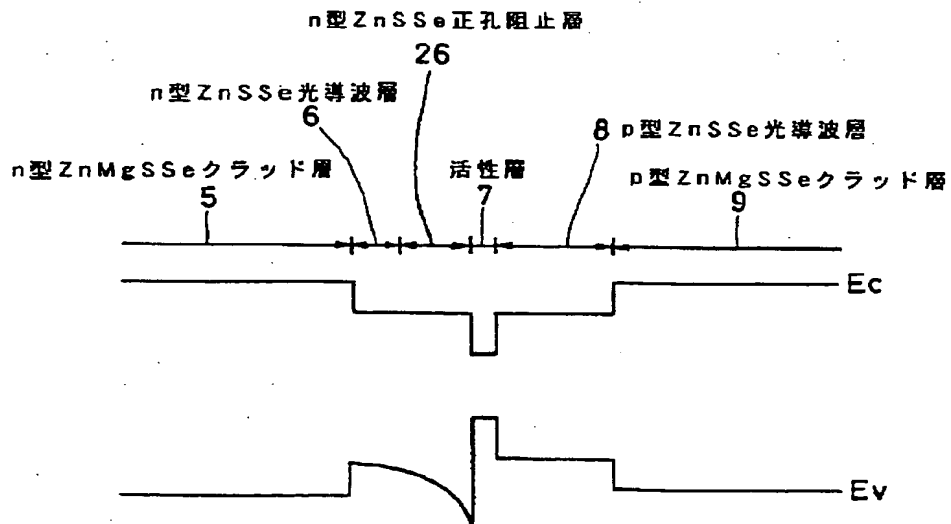
【図40】



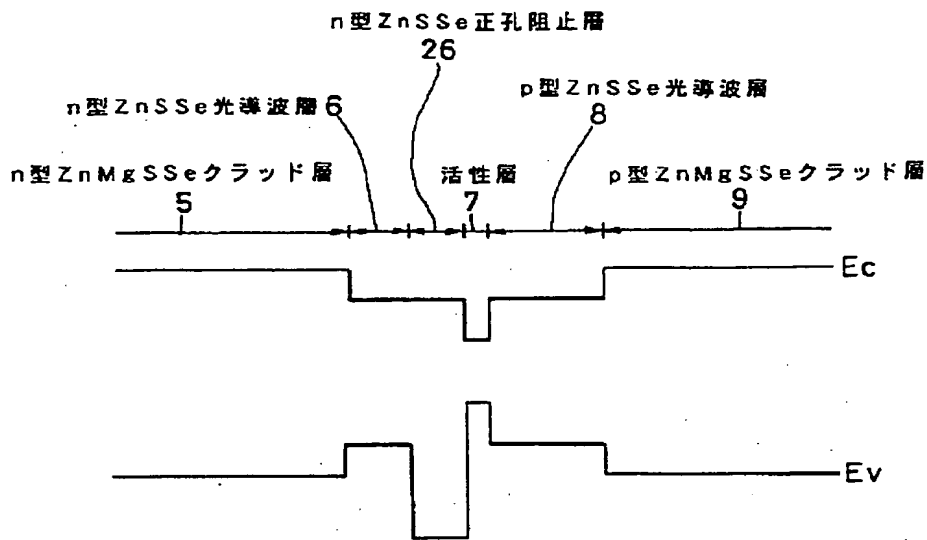
【図41】



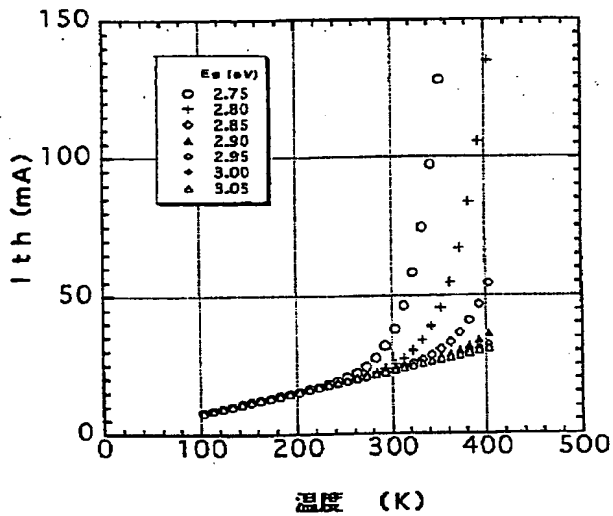
【図42】



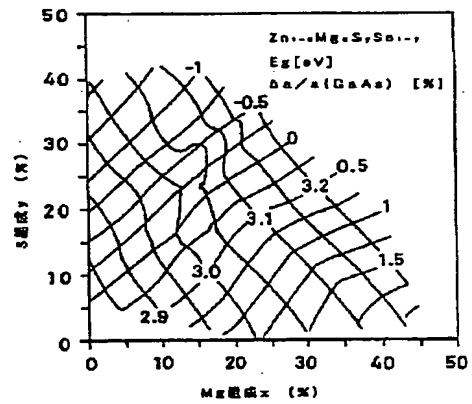
【図43】



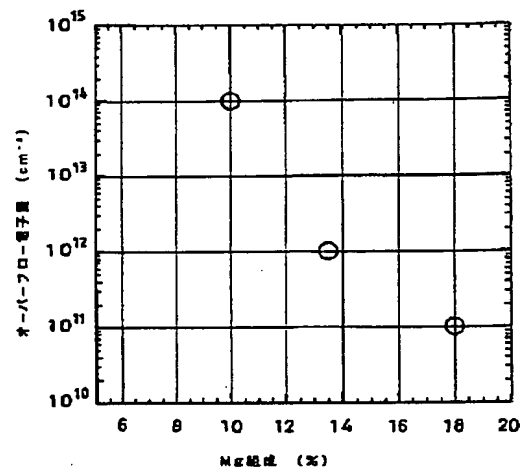
【図44】



【図45】



【図46】



フロントページの続き

(72) 発明者 奥山 浩之  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
一株式会社内  
(72) 発明者 中野 一志  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
一株式会社内

(72) 発明者 岡本 桜子  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
一株式会社内  
(72) 発明者 石橋 晃  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
一株式会社内